ISSN 2410-5031

Научно-практический журнал

АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ

ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА

№ 1 (46), 2025 г.

ОРЕЛ 2025

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.

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.

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).

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории «Электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ **А.К. Букреева**

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: 10.04.2025г.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2025 **Тираж 100 экз.** Распространяется бесплатно

16+

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,4-110 КВ 4
А.В. Виноградова[1,2]
[1]ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина
[2]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ПО НАПРЯЖЕНИЮ РАЙОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 12
Д.В. Боев, А.В. Савенков
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

ОБЗОР СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ ОТ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 17
А.А. Лансберг
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ОБЗОР СТЕПЕНЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЭС 31
Е.В. Попрядухин
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

ВЫБОР СПОСОБА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ НА БАЗЕ «ОС» «СТРЕЛЕЦКАЯ» 39
И.В. Поздняков
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 КВ 47
Д.С. Королёв
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДИК В ПРОЦЕССЕ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 59
К.А. Шатохин
ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОТОТИПА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 66
А.В. Виноградов[1,2], А.В. Букреев[1], Н.С. Сорокин[2]
[1] ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; [2] ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

УДК 621.311.1

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,4-110 КВ

А.В. Виноградова[1,2]

[1] ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина
[2] ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Аннотация. *Достоверная информация о количественных показателях надежности позволяет выявить узкие места в системе эксплуатационного обслуживания сельских электрических сетей и наметить мероприятия для её совершенствования. Одной из характеристик надёжности электрических сетей является количество технологических нарушений (ТН), в которые входят аварийные, плановые, потребительские, неотложные отключения в линии. Оценка изменений количественных значений технологических нарушений позволяет выявить тенденции в динамике ТН и предпринять превентивные меры по сокращению их числа. В работе определены аналитические показатели динамики технологических нарушений воздушных линий 0,4-110 кВ, такие как базисные абсолютный прирост и темп роста, цепные абсолютный прирост и темп роста, темпы прироста и наращивания числа ТН, другие показатели, позволяющие оценить ситуацию с количеством ТН в исследуемых сетях.*

Ключевые слова: *технологические нарушения, надежность, электроснабжение, воздушные линии, электрические сети, анализ производных показателей динамических рядов.*

Введение

За последние годы электрические сети претерпевают регулярные изменения. Разрабатываются новые виды электрооборудования, предлагаются новые подходы к конфигурации сетей [1,2]. Но ввиду огромных масштабов необходимой реконструкции электрических сетей, построенных уже несколько десятилетий назад, темпы реконструкции не позволяют в значительной степени привести состояние сетей к отличным показателям. Устаревание сетей приводит, несмотря на огромные усилия электросетевых компаний, к росту отказов, технологических нарушений, связанных, в том числе и с отключениями потребителей. Исследование состояния сетей, анализ статистической информации о ТН в них позволяет более эффективно выбирать объекты сетевого хозяйства для первоочередной реконструкции, правильно планировать инвестиционные программы.

Использование статистических методов позволяет изучать особенности функционирования систем электроснабжения [3], разрабатывать математические модели для упрощения и систематизации расчётов [4], прогнозировать потребляемую электроэнергию и мощность [5,6], а также оценивать эксплуатационную надёжность электрических сетей [7]. Важным является анализ удельных показателей надёжности электроснабжения [8].

Достоверная информация о количественных показателях надежности и о динамике их

изменения позволяет выявить узкие места в системе эксплуатационного обслуживания сельских электрических сетей и наметить мероприятия для её совершенствования. Одной из характеристик надёжности электрических сетей является количество технологических нарушений (ТН), в которые входят аварийные, плановые, потребительские, неотложные отключения в линии.

Цель исследования – оценить динамические показатели изменения количества технологических нарушений на воздушных линиях 0,4-110 кВ за период 2018-2023 года.

Материалы и методы исследования. Исследования выполнялись с использованием статистического материала по журналам отключений в электрических сетях 0,4-110 кВ одного из регионов за 6 лет. Был применён метод расчёта аналитических производных показателей динамических рядов.

Результаты и обсуждение

В качестве динамических рядов рассмотрим изменение количества технологических нарушений (ТН) электроснабжения на воздушных линиях разного класса напряжений за период 2018-2023 года.

Для расчётов был использован онлайн калькулятор расчёта аналитические показатели динамики [9]. Ряды динамики включают два основных элемента: показатели времени - t и соответствующие им показатели величины - Y. Были просчитать всевозможные аналитические производные показатели. Производные показатели могут рассчитываться двумя основными способами - цепным и базисным. [10]

При цепном методе каждый последующий показатель сопоставляется с предыдущим, при базисном - с одним и тем же показателем, принятым за базу сравнения. Обычно это первый показатель ряда.

Рассмотрим некоторые аналитические производные показатели:

Аналитические производные показатели

1. Абсолютный прирост - разность значений двух показателей ряда динамики.

Базисный абсолютный прирост, ΔY_b, - разность текущего значения Y_i и значения принятого за постоянную базу сравнения Y_0:

$$\Delta Y_b = Y_i - Y_0. \quad (1)$$

Цепной абсолютный прирост ΔY_l - разность текущего Y_iи предыдущего значений Y_{i-1}:

$$\Delta Y_l = Y_i - Y_{i-1}\,. \quad (2)$$

2. Темп роста - Отношение двух уровней ряда (может выражаться в процентах).

Базисный темп роста T_b - отношение текущего значения Y_i и значения принятого за постоянную базу сравнения Y_0:

$$T_b = \frac{Y_i}{Y_0}. \quad (3)$$

Цепной темп роста T_l - отношение текущего Y_i и предыдущего значений Y_{i-1}:

$$T_l = \frac{Y_i}{Y_{i-1}}\,. \quad (4)$$

3. Темп прироста - Отношение абсолютного прироста к сравниваемому показателю.

Базисный темп прироста $T\Delta_b$ - отношение абсолютного базисного прироста ΔY_{bi} и значения принятого за постоянную базу сравнения Y_0:

$$T\Delta_b = \frac{\Delta Y_{bi}}{Y_0}\,. \quad (5)$$

Цепной темп прироста $T\Delta_l$ - отношение абсолютного цепного прироста ΔY_{li} и предыдущего значения показателя Y_{i-1}:

$$T\Delta_l = \frac{\Delta Y_{li}}{Y_{i-1}} \ . \quad (6)$$

4. Ускорение

Абсолютное ускорение Δ_{abs} - разница между абсолютным приростом за данный период ΔY_{li} и абсолютным приростом за предыдущий период равной длительности ΔY_{li-1}. Измеряется только цепным способом:

$$\Delta_{abs} = \Delta Y_{li} - \Delta Y_{li-1} \ . \quad (7)$$

Относительное ускорение Δ_{rel} - отношение цепного темпа прироста за данный период $T\Delta_{li}$ и цепного темпа прироста за предыдущий период $T\Delta_{li-1}$:

$$\Delta_{rel} = \frac{T\Delta_{li}}{T\Delta_{li-1}} \ . \quad (8)$$

5. Темп наращивания T_{ni} - отношение цепных абсолютных приростов ΔY_{li} к уровню, принятому за постоянную базу сравнения Y_0:

$$T_{ni} = \frac{\Delta Y_{li}}{Y_0} \ . \quad (9)$$

6. Абсолютное значение одного процента прироста - отношение абсолютного прироста к темпу прироста, выраженное в процентах. После раскрытия формула упрощается до $K1$.

Для получения обобщающих характеристик динамики изучаемого ряда рассчитываются приведённые ниже средние показатели динамики.

1. Средний уровень, Y_{avg}- характеризует типичную величину показателей.

В интервальном динамическом ряду Y_{avg} рассчитывается как простое арифметическое среднее:

$$Y_{avg} = \frac{\sum Y_i}{n} \ . \quad (10)$$

В моментном динамическом ряду с равными промежутками времени между отсчетами как хронологическое среднее:

$$Y_{avg} = \frac{\frac{1}{2}Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_{n-1} + \frac{1}{2}Y_n}{n-1} \ . \quad (11)$$

2. Средний абсолютный прирост $\Delta_{avg}Y$ - обобщающий показатель скорости абсолютного изменения значений динамического ряда:

$$\Delta_{avg}Y = \frac{\Delta Y_{bi}}{n-1} \ . \quad (12)$$

3. Средний темп роста T_{avg} - обобщающий характеристика темпов роста ряда динамики:

$$T_{avg} = T_{bi}^{\frac{1}{i-1}} \text{ (корень степени i - 1).} \quad (13)$$

4. Средний темп прироста $T_{avg}\Delta$ - отношение тоже что и между темпом роста и темпом прироста:

$$T_{avg}\Delta = T_{avg} - 1 \ . \quad (14)$$

Все производные и средние показатели, приведенные здесь, рассчитываются в калькуляторе и сводятся в таблицы 1-6.

Таблица 1 – Производные показатели динамики ТН в ВЛ 0,4 кВ

Год	Кол-во отключений	Базисный абсолютный прирост	Цепной абсолютный прирост	Базисный темп роста	Цепной темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста	Абсолютное значение 1 % прироста	Абсолютное ускорение	Относительное ускорение	Темп наращивания
2018	72										
2019	71	-1	-1	0,99	0,99	-0,01	-0,01	0,72			-0,01
2020	55	-17	-16	0,76	0,77	-0,24	-0,23	0,71	-15	16,23	-0,22
2021	51	-21	-4	0,71	0,93	-0,29	-0,07	0,55	12	0,32	-0,06
2022	12	-60	-39	0,17	0,24	-0,83	-0,76	0,51	-35	10,51	-0,54
2023	124	52	112	1,72	10,33	0,72	9,33	0,12	151	-12,21	1,56

В период с 2018 по 2020 года наблюдалось плавное снижение технологических нарушений в электрических сетях 0,4 кВ, затем произошёл резкий ежегодный рост отключений с 2021 года. Как отмечалось в работе [11], большое влияние оказала пандемия COVID-19 и сложности прогнозирования обслуживания электросетевого комплекса. Кроме того, с 2021 изменились требования по ведению журналов отключений, все отключения стали фиксироваться. Базисный темп прироста составляет 3,36, что является довольно высоким показателем.

Таблица 2 - Производные показатели динамики ТН в ВЛ 6,3 кВ

Год	Кол-во отключений	Базисный абсолютный прирост	Цепной абсолютный прирост	Базисный темп роста	Цепной темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста	Абсолютное значение 1 % прироста	Абсолютное ускорение	Относительное ускорение	Темп наращивания
2018	26										
2019	18	-8	-8	0.69	0,69	-0.31	-0.31	0.26			-0.31
2020	18	-8	0	0.69	1	-0.31	0	0.18	8	0	0
2021	43	17	25	1.65	2.39	0.65	1.39	0,18	25	∞	0.96
2022	98	72	55	3.77	2.28	2.77	1.28	0.43	30	0.92	2.12
2023	399	373	301	15.35	4.07	14.35	3.07	0.98	246	2.40	11.58

Анализ показывает довольно стабильные значения за период 2018-2020 года. Но с 2021 года началось резкое увеличение количества технологических нарушений. Базисный темп прироста составил 14,35. К тому же данное значение продолжит рост из-за отсутствия своевременных эксплуатационных мер по обслуживанию и ремонту, так как большинство линий 6 кВ находятся на балансе потребителя, но обслуживаются сетевой компанией.

Таблица 3 - Производные показатели динамики ТН в ВЛ 10 кВ

Год	Кол-во отключений	Базисный абсолютный прирост	Цепной абсолютный прирост	Базисный темп роста	Цепной темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста	Абсолютное значение 1 % прироста	Абсолютное ускорение	Относительное ускорение	Темп наращивания
2018	1556										
2019	1344	-212	-212	0,86	0,86	-0,14	-0,14	15,56			-0,14
2020	964	-592	-380	0,62	0,72	-0,38	-0,28	13,44	-168	2,08	-0,24
2021	2243	687	1279	1,44	2,33	0,44	1,33	9,64	1659	-4,69	0,82
2022	2676	1120	433	1,72	1,19	0,72	0,19	22,43	-846	0,15	0,28
2023	3024	1468	348	1,94	1,13	0,94	0,13	26,76	-85	0,67	0,22

Анализ электрических сетей 10 кВ показывает плавное снижение значение

технологических нарушений до 2020 года, затем резкое увеличение до 2023 года. Помимо превышения срока эксплуатации ВЛ 10 кВ на количество отключений влияет постановка на баланс бесхозных электрических сетей, сокращение финансирования сетевой компании в 2022 году, а также изменения в ведении журналов отключений. Базисный темп прироста составляет 0,94.

Таблица 4 - Производные показатели динамики ТН в ВЛ 35 кВ

Год	Кол-во отключений	Базисный абсолютный прирост	Цепной абсолютный прирост	Базисный темп роста	Цепной темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста	Абсолютное значение 1 % прироста	Абсолютное ускорение	Относительное ускорение	Темп наращивания
2018	72										
2019	71	-1	-1	0,99	0,99	-0,01	-0,01	0,72			-0,01
2020	55	-17	-16	0,76	0,77	-0,24	-0,23	0,71	-15	16,23	-0,22
2021	51	-21	-4	0,71	0,93	-0,29	-0,07	0,55	12	0,32	-0,06
2022	12	-60	-39	0,17	0,24	-0,83	-0,76	0,51	-35	10,51	-0,54
2023	124	52	112	1,72	10,33	0,72	9,33	0,12	151	-12,21	1,56

Базисный темп прироста ВЛ 35 кВ составляет 0,72. До 2022 года наблюдаем заметное снижение технологических нарушений и в 2023 году резкий скачок. В первую очередь это связано с увеличением количества плановых отключений для ремонта и обслуживания электросетевого комплекса.

Таблица 5 - Производные показатели динамики ТН в ВЛ 110 кВ

Год	Кол-во отключений	Базисный абсолютный прирост	Цепной абсолютный прирост	Базисный темп роста	Цепной темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста	Абсолютное значение 1 % прироста	Абсолютное ускорение	Относительное ускорение	Темп наращивания
2018	98										
2019	99	1	1	1,01	1,01	0,01	0,01	0,98			0,01
2020	85	-13	-14	0,87	0,86	-0,13	-0,14	0,99	-15	-13,86	-0,14
2021	86	-12	1	0,88	1,01	-0,12	0,01	0,85	15	-0,08	0,01
2022	22	-76	-64	0,22	0,26	-0,78	-0,74	0,86	-65	-63,26	-0,65
2023	111	13	89	1,13	5,05	0,13	4,05	0,22	153	-5,44	0,91

Базисный темп прироста ВЛ 110 кВ составляет 0,13 и является минимальным среди всех рассмотренных классов напряжений. До 2022 года наблюдаем плавное снижение технологических нарушений и в 2023 году резкий скачок. Это, как и в сетях других классов напряжения, также связано с увеличением количества плановых отключений для ремонта и обслуживания электросетевого комплекса.

Средние значения показателей по всем классам напряжений сведём в таблицу 6.

Таблица 6 – Средние показатели ВЛ 0,4-110 кВ

Показатель	Класс напряжения ВЛ				
	0,4 кВ	6,3 кВ	10 кВ	35 кВ	110 кВ
Среднее количество ТН	3405	78	1903	57	79
Средний абсолютный прирост	1644	74,6	293,6	10,4	2,6
Средний темп роста	1,34	1,73	1,14	1,11	1,03
Средний темп прироста	0,34	0,73	0,14	0,11	0,03

Полученные данные свидетельствуют об увеличении всех рассматриваемых показателей. Средний темпа роста по всем классам больше 1, что подтверждает тенденцию к увеличению количества технологических нарушений. При этом самый низкий показатель 1,03 в сетях 110 кВ, а самый высокий в сетях 6,3 кВ и 0,4 кВ (1,73 и 1,34 соответственно). Безусловно можно сделать, что наблюдается прямая зависимость количества отключений в системе электроснабжения в зависимости от класса напряжения (чем меньше класс напряжений, тем больше подключенных потребителей).

Выводы

Рассмотренные показатели динамических рядов технологических нарушений ВЛ 0,4-110 кВ показывают техническое состояние сетей каждого класса напряжения. Чем выше средний рост значения показателей, тем важнее уделить внимание электрическим сетям данного класса напряжения. Так электрические сети 0,4 и 6,3 кВ имеют наиболее высокие значения показателей динамики, что означает прогнозируемое увеличение числа технологических нарушений в ближайшие годы. Это говорит о необходимости проведения мероприятий как по повышению уровня состояния сетей, так и предупреждает о необходимости подготовки эксплуатационных служб к выполнению масштабных работ по устранению причин отключений и их последствий.

Список использованных источников

1. Виноградов А.В. Новые решения для сельских электрических сетей: управление конфигурацией. Сокращение потерь. Обеспечение наблюдаемости: монография / А.В. Виноградов, В.Е. Большев, А.В. Виноградова [и др.] - Орёл: Изд-во ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2024. – 236 с. EDN HXSZKQ.
2. Виноградов А.В. Управление конфигурацией как концепция развития сельских электрических сетей 0,4 кВ // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71. N4. С. 65-72. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-4-65-72. EDN: ZLARRK.
3. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А, Зацепин Е.П. Особенности функционирования многоуровневых систем электроснабжения // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2018. № 3(53). С. 12-19. EDN YLNCRV.
4. Андреева Е.В. Вероятностно-статистические модели воздушных линий 6-10 кВ электроснабжения потребителей АПК [Гомельская обл., Белоруссия] // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2007. № 2. С. 390. EDN HZMBKJ.
5. Филиппова Т.А. Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем монография / Филиппова Т.А., Русина А.Г., Дронова Ю.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 367 с. ISBN 978-5-7782-1235-0. EDN QMKSCV.
6. Асенов Д.Н., Темырканова Э.К. Анализ современных подходов прогнозирования потребления электрической энергии // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. 2021. No. 2,2021. P. 37-52. DOI 10.48081/djlb3547. EDN GWXZPC.
7. Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Епифанов А.П. Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.2023. № 5 (74). С. 121–139. DOI: 10.24411/2078-1318-2023-5-121-139.
8. Виноградова А.В., Виноградов А.В, Букреев А.В. Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 77-85. DOI 10.26897/2687-1149-2024-6-77-85. EDN AZEIQF.

9. Онлайн калькулятор. Аналитические показатели динамики [Электронный ресурс] Режим доступа: https://planetcalc.ru/459/

10. Шубат О.М., Блинов Д.В. Исследование рядов динамики в экономике и менеджменте. Учебный электронный текстовый ресурс [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13795/1/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%2C%20%D0%A8%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%82_%D0%AD%D0%9E%D0%A0.pdf.

11. Виноградова А.В., Виноградов А.В. Анализ плановых и аварийных отключений в сельских электрических сетях 0,4 кВ // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024.Т. 71, № 3(56). С. 44-51. DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-44-51. EDN VRFTOI.

Bibliography:

1. Vinogradov A.V. New solutions for rural power grids: configuration management. Reduction of losses. Ensuring observability: a monograph / A.V. Vinogradov, V.E. Bolshev, A.V. Vinogradova [et al.] - Oryol: Izd-e OOO Polygraphic firm “Kartush”, 2024. - 236 c. EDN HXSZKQ.

2. Vinogradov, A.V. Configuration management as a concept of development of the rural electric networks 0,4 kV // Electrotechnologies and electrical equipment in APK. 2024. T. 71. N4. C. 65-72. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-4-65-72. EDN: ZLARRK.

3. Shpiganovich A.N., Shpiganovich A.A., Zatsepin E.P. Features of functioning of multilevel power supply systems // Vesti of higher educational institutions of Chernozemye. 2018. № 3(53). C. 12-19. EDN YLNCRV.

4. Andreeva, E.V. Probabilistic-statistical models of the 6-10 kV overhead lines for the power supply of the AIC consumers [Gomel region, Belarus] // Engineering and technical support of the AIC. Abstract journal. 2007. № 2. C. 390. EDN HZMBKJ.

5. Filippova, T.A. Models and methods of the electric power and capacity forecasting at control of modes of the electric power systems monograph / Filippova, T.A.; Rusina, A.G.; Dronova, Yu.V. - Novosibirsk: Izd-vo NSTU, 2009. - 367 c. ISBN 978-5-7782-1235-0. EDN QMKSCV.

6. Asenov D.N., Temyrkanova E.K. Analysis of modern approaches to forecasting the consumption of electrical energy // Vestnik Toraigyrov University. Energeticheskaya seriya. 2021. No. 2, 2021. P. 37-52. DOI 10.48081/djlb3547. EDN GWXZPC.

7. Isupova A.M., Khorolskiy V.Ya., Mastepanenko M.A., Epifanov A.P. Evaluation of operational reliability of rural electrical networks by statistical data on outages // Izvestiya St. Petersburg State Agrarian University.2023. № 5 (74). C. 121-139. DOI: 10.24411/2078-1318-2023-5-121-139.

8. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V. Specific reliability indicators of 0.4 kV electrical networks // Agroengineering. 2024. T. 26, № 6. C. 77-85. DOI 10.26897/2687-1149-2024-6-77-85. EDN AZEIQF.

9. Online calculator. Analytical indicators of dynamics [Electronic resource] Mode of access: https://planetcalc.ru/459/

10. Shubat O.M., Blinov D.V. Research of dynamics series in economics and management. Educational electronic text resource [Electronic resource] Mode of access: URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13795/1/%D0%91%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%

D0%B2%2C%20%D0%A8%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%82_%D0%AD%D0%9E%D0%A0.pdf.

11. Vinogradova, A.V.; Vinogradov, A.V. Analysis of the planned and emergency shutdowns in the rural electric networks of 0.4 kV // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2024.T. 71, № 3(56). C. 44-51. DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-44-51. EDN VRFTOI.

Алина Васильевна Виноградова, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; доцент кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет, 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69.

Тел.+79208079424, e-mail: alinawin@rambler.ru

ANALYTICAL INDICATORS OF DYNAMICS OF TECHNOLOGICAL FAILURES OF 0,4-110 KV OVERHEAD LINES

A.V. Vinogradova[1,2]

[1] FGBOU VO Oryol State University
[2] FGBNU FNATS VIM

Annotation. Reliable information on quantitative indicators of reliability makes it possible to identify bottlenecks in the system of operational maintenance of rural power grids and to outline measures for its improvement. One of the characteristics of reliability of electric networks is the number of technological violations (TN), which include emergency, planned, consumer, and urgent discon-nections in the line. Assessment of changes in the quantitative values of technological failures al-lows us to identify trends in the dynamics of TN and take preventive measures to reduce their number. The paper defines analytical indicators of the dynamics of technological violations of 0,4-110 kV overhead lines, such as basic absolute growth and growth rate, chain absolute growth and growth rate, growth rate and increase in the number of TN, other indicators that allow to assess the situation with the number of TN in the studied networks.

Key words: technological disturbances, reliability, power supply, overhead lines, power grids, analysis of derivative indicators of dynamic series.

Alina Vinogradova, PhD in Engineering, Leading Researcher at the Laboratory of Electricity Supply, Electrical Equipment and Renewable Energy, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Associate Professor of the Department of Electricity Supply, Oryol State Agrarian Uni-versity, 302019, Oryol, General Rodin St., 69
+79208079424, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5,
e-mail: alinawin@rambler.ru, ОРСИД 0000-0002-8935-7086

УДК 621.316.1

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ПО НАПРЯЖЕНИЮ РАЙОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Д.В. Боев, А.В. Савенков

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. *Оптимизация режима по напряжению районной электрической сети является актуальной темой в современной энергетике России. В последние десятилетия распределительные электрические сети становятся все более сложными и многофункциональными системами, которые играют ключевую роль в обеспечении надежного и качественного электроснабжения. С увеличением потребления электроэнергии, а также с развитием новых технологий, таких как возобновляемые источники энергии и интеллектуальные сети, актуальность оптимизации режимов напряжения в этих сетях возрастает. Оптимизация режимов напряжения не только способствует повышению надежности и стабильности работы электрических сетей, но и позволяет минимизировать потери электроэнергии, что в свою очередь ведет к снижению эксплуатационных затрат и улучшению экологической ситуации.*

Ключевые слова: *надежность, качество электроэнергии, оптимизация напряжения в распределительных сетях, методы регулирования напряжения, оптимизация режима по напряжению, причины проблемы, улучшение.*

Введение. Одной из основных проблем, с которой сталкиваются операторы распределительных электрических сетей, является необходимость поддержания напряжения в заданных пределах. Отклонения напряжения могут привести к снижению качества электроэнергии, что негативно сказывается на работе электроприемников и может вызвать их повреждение. Поэтому оптимизация режимов напряжения становится неотъемлемой частью управления распределительными сетями. Для решения таких задач существуют различные алгоритмы [6]. В данной работе будет рассмотрена важность этой оптимизации, а также методы и технологии, которые позволяют эффективно регулировать напряжение и минимизировать отклонения на выходах электроприемников.

В рамках работы будут освещены несколько ключевых тем. Во-первых, будет подробно рассмотрена актуальность темы оптимизации напряжения в распределительных электрических сетях. Мы проанализируем современные тенденции в области электроснабжения и выявим, как оптимизация режимов напряжения может способствовать улучшению эксплуатационных характеристик сетей. Во-вторых, будут представлены основные методы регулирования напряжения.

Материалы и методы исследования. В работе применялись методы литературного обзора, теории надёжности. Материалами исследования являлись работы в области качества электроэнергии, методы регулирования напряжения в сетях.

Результаты и обсуждение. Системы распределительных электрических сетей (РЭС) становятся все более сложными из-за растущего числа подключенных к ним источников энергии и увеличения нагрузки. Оптимизация режима по напряжению в таких сетях требует учета различных факторов, влияющих на эффективность их работы. В условиях, когда

электрические сети испытывают значительные нагрузки, важно поддерживать напряжение на уровне, соответствующем установленным нормам, например, ГОСТ Р 54149-2010 [2]. Критическим моментом здесь является то, что отклонения напряжения могут привести к снижению качества электроэнергии, увеличению потерь и возможным сбоям в работе оборудования.

Для повышения устойчивости РЭС и снижения потерь применяется разнообразное оборудование и технологии, такие как автоматизированные системы управления. Такой подход позволяет оптимизировать параметры работы сетей, обеспечивая необходимую гибкость в ответ на изменения нагрузки и генерируемой мощности. Например, современные алгоритмы оптимизации, основанные на методах машинного обучения и математического моделирования, используются для повышения стабильности и надежности распределительных систем. Эти алгоритмы позволяют в реальном времени адаптировать режимы работы сети, учитывая фактические условия [1].

Важным аспектом оптимизации режима по напряжению является балансировка активной и реактивной мощности. Эффективное управление этими параметрами позволяет снизить риск перегрузки оборудования и уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций. Поэтому использование компенсирующих устройств, таких как конденсаторные установки и автоматизированные системы регулирования, становится необходимым для достижения устойчивых режимов работы распределительных сетей [3]. Это осознается разнообразными энергетическими компаниями, которые интегрируют современные технологии в свои процессы для повышения надежности электроснабжения.

Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях – это важный аспект, играющий ключевую роль в обеспечении стабильности и надежности электроснабжения. Множество методов, применяемых для достижения оптимального уровня напряжения, можно разделить на несколько категорий. Первым и наиболее распространенным способом является централизованное регулирование, которое осуществляется на уровнях центров питания. Главная задача этого метода заключается в компенсации потерь напряжения, что позволяет держать величину напряжения на заданном уровне. В рамках данного подхода используется изменение режимов на шинах центров питания, что обеспечивает надежное функционирование всей электрической сети [5].

Следующий метод включает использование автоматических регуляторов. К примеру, автоматические регуляторы возбуждения (АРВ) на синхронных генераторах активно применяются для контроля рабочего напряжения на электрических станциях. Данный метод автоматически подстраивает напряжение в зависимости от условий нагрузки, что делает его весьма эффективным в условиях, когда эксплуатационные параметры часто меняются [4].

Трансформаторы с регулируемыми отношениями трансформации представляют собой ещё один важный инструмент для управления напряжением. Эти устройства обеспечивают возможность регулирования напряжения без прерывания электроснабжения, что крайне важно в современных условиях, когда большинство потребителей ожидает постоянного и надежного доступа к электрической энергии. Трансформаторы с системой переключения ответвлений (РПН) применяются для минимизации колебаний напряжения и повышения качества электроснабжения [4].

Кроме того, суточное регулирование предоставляет возможность управления напряжением на уровне центра питания. Этот метод наиболее актуален для электрических сетей с однотипными графиками нагрузки, так как позволяет более эффективно распределять ресурсы и уменьшаеть потери в сети. Применение предсказуемых моделей потребления

энергии позволяет оперативно реагировать на изменения спроса и поддерживать стабильные параметры работы сети [5].

Для достижения высоких стандартов качества электроэнергии необходимо управлять величинами напряжения таким образом, чтобы они оставались в пределах допустимых значений. Соответствие требованиям стандартов, таких как наличие диапазона напряжений на уровне ± 5% с вероятностью 95% и не выходящими за пределы ± 10% от номинального напряжения, является обязательным для безопасной эксплуатации оборудования [2].

Оптимизация режима по напряжению в распределительных электрических сетях направлена на повышение общей эффективности и надежности энергоснабжения. Этот процесс включает в себя комплекс мероприятий, охватывающих различные аспекты работы электрических систем. Одним из основных преимуществ оптимизации является улучшение качества электроэнергии. Балансировка фазных напряжений способствует снижению гармонических искажений, что, в свою очередь, положительно сказывается на надежности эксплуатации электрооборудования, предотвращая его выход из строя [1].

Финансовый аспект также важен в контексте оптимизации. Комплексное управление активными и реактивными мощностями позволяет минимизировать потери в электрических сетях. Это приводит к снижению затрат на эксплуатацию энергетического оборудования и экономии топлива. В результате, операционные расходы уменьшаются, что делает систему более экономичной и привлекательной для инвесторов [2].

Учет ограничений в процессе оптимизации делает его более гибким. Современные алгоритмы и методы, такие как градиентные методы, позволяют учитывать различные неравенства и ограничения, что увеличивает точность и достоверность получаемых результатов. Это критически важно для обеспечения надежности работы сети, особенно в условиях ограниченных ресурсов и увеличивающейся нагрузки на системы электроснабжения [1].

Экономия ресурсов является важным аспектом, который способствует более рациональному использованию имеющихся мощностей. Поиск оптимального режима работы позволяет выпускать электроэнергию с наименьшими затратами, тем самым снижая нагрузку на генерирующие установки и позволяя учитывать требования к спросу. Это позволяет существенно повысить экономическую эффективность как отдельных предприятий, так и целых энергетических систем [2].

Адаптивность методов оптимизации обеспечивает гибкость управления распределительными сетями. В условиях динамично меняющегося спроса, особенно с учетом развития возобновляемых источников энергии, переход на оптимальные режимы становится необходимым для поддержания стабильности и надежности работы сети. Оперативное реагирование на изменения в нагрузке и параметрах сети позволяет снизить риски превышения допустимых значений напряжения и предотвратить аварийные ситуации [3].

Интеграция современных технологий с системами оптимизации открывает новые горизонты. Это включает в себя использование систем распределенной генерации, а также активное участие потребителей в управлении спросом. Эффективное взаимодействие традиционных и новых технологий обеспечивается за счет применения методов оптимизации, что способствует созданию более устойчивой и гибкой энергетической инфраструктуры [4].

Современные методы оптимизации напряжения в распределительных сетях представляют собой универсальный инструмент, который не только улучшает

эксплуатационные характеристики сетей, но и обеспечивает надежность их работы. Параллельно, обращение к неэффективным традиционным методам может заметно снизить эффективность всего процесса управления энергоснабжением. Поэтому актуальность разработки и внедрения новых алгоритмов оптимизации остается высокой в условиях растущих требований к качеству и надежности системы [3, 7].

Обширные исследования в области методов оптимизации режимов напряжения подтверждают их жизнеспособность и необходимость дальнейшего изучения. Исследования показывают, что грамотное применение данных методов способствует улучшению не только технических характеристик, но также экономической составляющей работы энергетических систем [2]. Основным вызовом на сегодня остается необходимость интеграции новых технологий и адаптации существующих моделей для работы в условиях динамично изменяющегося рынка электроэнергии.

Вывод. Таким образом, работа подчеркивает важность оптимизации режимов напряжения в распределительных электрических сетях как ключевого элемента для обеспечения надежного и качественного электроснабжения. Внедрение предложенных методов и технологий может значительно улучшить эксплуатационные характеристики сетей, что в свою очередь будет способствовать развитию энергетической инфраструктуры и повышению уровня жизни населения. В будущем необходимо продолжать исследования в этой области, чтобы находить новые решения и подходы, которые помогут справиться с вызовами, стоящими перед энергетическим сектором.

Список использованных источников

1. Кубарьков Ю.П., Кулаев И.С. Оптимизация распределительных электрических сетей для улучшения стабильности напряжения и снижения потерь // Вестник Самарского государственного технического университета. 2016 № 1(49). С. 110-115.E DN VZSXDJ.

2. Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2019 г. Сборник материалов. Том Часть II. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. 314 с.ISBN 978-5-7267-1108-9. EDN QMSNKC.

3. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Качество электроэнергии. Регулирование напряженияи частоты в энергосистемах: учеб. Пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 108 с.

4. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: учебное пособие.– М.: Университетская книга; Логос, 2008. 254 с.

5. Герасимов С.Е., Меркурьев А.Г. Регулирование напряжения в распределительных сетях. С-Пб., Центр подготовки кадров СЗФ АО «ГВЦ Энергетики» 1998 г. С.84.

6. Юдин, А. А. Исследование алгоритма оптимизации электроэнергетических режимов по напряжению и реактивной мощности с использованием метода штрафных функций / А. А. Юдин // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 238-243. – EDN WYDLNJ.

7. Непомнящий, В. А. Моделирование надежности электрических сетей / В. А. Непомнящий // Надежность и безопасность энергетики. – 2014. – № 3(26). – С. 2-15. – EDN STAPNJ.

Bibliography:

1. Kubarkov, Yu.P.; Kulaev, I.S. Optimization of distribution electrical networks to improve voltage stability and reduce losses // Bulletin of Samara State Technical University. 2016 № 1(49). C. 110-115.E DN VZSXDJ.

2. Energy efficiency and energy saving in modern production and society: materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, June 06-07, 2019 Collection of materials. Volume Part II. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after. Emperor Peter the Great, 2019. 314 p.ISBN 978-5-7267-1108-9. EDN QMSNKC.

3. Ananicheva S.S., Myzin A.L. Quality of electric power. Voltage and frequency regulation in power systems: textbook. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 108 c.

4. Lykin, A.V. Electrical systems and networks: textbook. - M.: Universitetskaya kniga; Logos, 2008. 254 c.

5. Gerasimov, S.E.; Merkuryev, A.G. Voltage regulation in the distribution networks. S-Pb., Personnel Training Center of NWF of JSC "GWC Energetics" 1998. P.84.

6. Yudin, A. A. Study of the algorithm for optimizing electric power modes for voltage and reactive power using the penalty function method / A. A. Yudin // Energy systems. - 2017. - No. 1. - P. 238-243. - EDN WYDLNJ. 7. Nepomnyashchy, V. A. Modeling the reliability of electrical networks / V. A. Nepomnyashchy // Reliability and safety of energy. - 2014. - No. 3 (26). - P. 2-15. - EDN STAPNJ.

Д.В. Боев, магистрант ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. e-mail: dboyev@yandex.ru

Алексей Валентинович Савенков, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И.А.Будзько.

VOLTAGE MODE OPTIMIZATION OF THE DISTRICT POWER NETWORK

D.V. Boev, A.V. Savenkov

K.A. Timiryazev FGBOU VO RGAU-MSHA

Annotation. Voltage mode optimization of the district power network is an urgent topic in the modern power engineering of Russia. In recent decades, distribution power grids are becoming more and more complex and multifunctional systems that play a key role in ensuring reliable and high-quality power supply. With the increase in electricity consumption, as well as with the development of new technologies such as renewable energy sources and smart grids, the relevance of optimizing voltage modes in these networks is increasing. Optimization of voltage modes not only contributes to improving the reliability and stability of power grids, but also helps minimize power losses, which in turn leads to lower operating costs and a better environmental situation.Keywords*:* cogeneration, trigeneration, heat pumps, batteries, recovery.

Key words: reliability, power quality, voltage optimization in distribution networks, voltage regulation methods, voltage mode optimization, causes of the problem, improvement.

D.V. Boev, Master's student, K.A. Timiryazev FGBOU VO RGAU-MSHA. e-mail: dboyev@yandex.ru

Alexey Valentinovich Savenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academician I.A. Budzko Chair of Electricity Supply and Heat Power Engineering.

УДК 621.316.99(043): 621.316.923.2: 621.316.53.064.26:621.315.1

ОБЗОР СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ ОТ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

А.А.Лансберг

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Аннотация. *В работе рассмотрены технические решения по повышению защищённости сельских электрических сетей 0,4 кВ от однофазных коротких замыканий. В ходе анализа литературных источников было выявлено, что основными техническими решениями повышения защищённости являются использование дополнительных повторных заземлителей нулевого провода, замена устаревшего защитного коммутационного аппарата на современный, секционирование с использованием плавких предохранителей, секционирующих пунктов и мультиконтактных коммутационных систем. Использование данных решений было продемонстрировано на примере радиальной сельской электрической сети 0,4 кВ с наиболее часто используемым оборудованием для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.*

Использование технических решений повышения защищённости линии электропередачи 0,4 кВ реализовывалось на компьютерной модели, с помощью которой определялись токи однофазного короткого замыкания и сравнивались с время-токовыми характеристиками защитных коммутационных аппаратов. В качестве прототипа сельской электрической сети 0,4 кВ была принята линия электропередачи протяжённостью 1000 метров, выполненная проводом А-35, подключенная к трансформатору ТМ-250/10/0,4 киловольт Y/Yн.

Было выявлено, что повысить защищённость электрической сети 0,4 кВ с использованием 4-х дополнительных повторных заземлителей метров можно на 0,8-2,15%. Также были рассмотрены другие технические решения по повышению защищённости электрической сети 0,4 кВ от однофазных коротких замыканий.

Отмечено, что наиболее совершенным техническим решением по повышению защищённости от однофазных коротких замыканий является использование современных секционирующих пунктов и мультиконтактных коммутационных систем, так как они кроме защиты линии позволяют также обеспечивать мониторинг электрических параметров и управление конфигурацией.

Ключевые слова: *моделирование, компьютерная модель, секционирование, однофазное короткое замыкание, сельская электрическая сеть, плавкий предохранитель, автоматический выключатель, мультиконтактные коммутационные системы.*

Введение. На протяжении длительного периода времени проблема защищённости сельских электрических сетей 0,4 кВ от токов однофазного короткого замыкания является актуальной. Это связано с низкими значениями токов аварийного режима, которые обусловлены завышенной протяжённостью электрических сетей 0,4 кВ, малым сечением используемых проводов и низкой мощностью силовых трансформаторов, что в совокупности приводит к большим значениям сопротивления петли «фаза-0». Данная особенность не обеспечивает возможность отключения тока аварийного режима за установленные пунктом

1.7.79 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) 0,4 секунды для фазного напряжения 220 В при заземлении нейтрали типа TN [1].

Для повышения защищённости сельских электрических сетей 0,4 кВ и обеспечения требований чувствительности на протяжении длительного периода времени предлагались различные способы и технические решения.

Одним из технических решений повышения защищённости может быть использование дополнительных повторных заземлений нулевого провода. Так, в сельских электрических сетях 0,4 кВ, выполненных в воздушном исполнении, согласно ПУЭ должно выполняться заземление нулевого провода. В пункте 1.7.100 ПУЭ отмечено, что нейтраль трёхфазного трансформатора должна быть заземлена непосредственно вблизи трансформатора [1]. При этом согласно пункта 1.7.101 ПУЭ сопротивление заземляющего устройства при междуфазном напряжении 380 В должно быть не более 4 Ом [1]. Также в электроустановках данного типа заземлению подлежит совмещённый PEN-проводник. Согласно пункта 1.7.102 повторные заземления необходимо выполнять на вводе воздушной линии и её конце, а также в конце отпаек от магистрали, протяжённость которых превышает 200 метров [1]. В свою очередь, сопротивление растеканию повторных заземлителей совмещённого PEN-проводника при междуфазном напряжении должно быть не более 30 Ом [1]. В работе [2] на основе анализа ряда исследований отмечено, что при возникновении тока однофазного короткого замыкания повторные заземления незначительно влияют на величину тока аварийного режима. Выявлено, что использование повторных заземлений нулевого провода не оказывает значительного влияния на величину тока однофазного короткого замыкания за исключением случаев использования их в большом количестве или при низком сечении провода линии электропередачи 0,4 кВ [3]. В связи с вышеуказанными положениями, рассмотрение возможности повышения защищённости сельской электрической сети 0,4 кВ от токов однофазного короткого замыкания за счёт использования дополнительных повторных заземлителей нулевого провода является актуальной задачей.

Другим техническим решением является сетевое секционирование линий электропередачи 0,4 кВ. Данный способ защиты был предложен более 80 лет назад Спеваковым П.И. [4]. Способ заключается в установке плавких предохранителей и автоматических выключателей в рассечку проводов электрической сети 0,4 кВ с таким условием, чтобы соблюдалось условие по отключению защищаемого участка. На протяжении длительного периода времени учёными МЭИ, РГАУ-МСХА предлагались схожие технические решения по секционированию электрических сетей 0,4 кВ с использованием автоматических выключателей и плавких предохранителей.

При этом челябинскими учёными Южно-Уральского государственного университета Ершовым А.М., Валеевым Р.Г. и Сидоровым А.И. усовершенствована концепция построения защиты сельских электрических сетей напряжением 0,4 кВ, которая заключается в секционировании по длине воздушной линии плавкими предохранителями [5]. Предложенная концепция была проиллюстрирована на примере защиты воздушной линии электропередачи 0,4 кВ протяжённостью 500 метров, выполненной с использованием провода сечением 35 мм^2, питание которой осуществляется от трансформатора номинальной мощностью 160 кВА со схемой и группой соединения обмоток Y/Y_0 [6]. Были получены зависимости, позволяющие определить место установки плавких предохранителей или автоматических выключателей, обеспечивая отсутствие зон несрабатывания защит при времени срабатывания не более 5 с [7]. Полученные результаты исследования позволили разработать методики выбора места установки секционирующих плавких предохранителей

по критериям срабатывания защит согласно требованиям ПУЭ [8]. Отмечено, что секционирование воздушных линий электропередачи 0,4 кВ позволяет повысить электробезопасность их эксплуатации в 50 и более раз [9].

Наиболее совершенным техническим решением, предложенным Виноградовой А.В., является секционирующий пункт, позволяющий реализовывать функции защиты и автоматики в сельских электрических сетях 0,4 кВ [10, 11], который был внедрён в эксплуатацию в филиале ПАО «Россети Центр»-«Орёлэнерго» в 2016 году. В качестве коммутационного аппарата, обеспечивающего включение и отключение электрической сети, в секционирующем пункте используется вакуумный контактор [12]. Для управления секционирующим пунктом также разработан микроконтроллерный блок управления, который осуществляет измерение параметров электрической сети 0,4 кВ [13]. С целью выбора места установки секционирующих пунктов разработан ряд методик, учитывающих эффекты от повышения надёжности электроснабжения и защищённости электрической сети 0,4 кВ [14, 15]. Также были предложены технические решения по установке и креплению секционирующего пункта на опорах сельской электрической сети 0,4 кВ [16]; произведено технико-экономическое обоснование его использования на примере линии электропередачи 0,4 кВ, обеспечивающей электроснабжение производственных сельскохозяйственных потребителей [17].

Усовершенствованным вариантом секционирующего пункта, учитывающего особенности конфигурации электрических сетей 0,4 кВ, являются мультиконтактные коммутационные системы, например, типа МКС-2-3В [18, 19]. С использованием мультиконтактных коммутационных систем секционирование сельских электрических сетей 0,4 кВ также осуществляется вакуумными контакторами, что соответствует современному уровню развития электрооборудования в мире. Управление осуществляется микроконтроллерным блоком управления, непрерывно передающим данные о работе устройства диспетчеру электросетевой организации.

Другим эффективным решением по защите сельских электрических сетей 0,4 кВ от однофазных коротких замыканий является использование автоматических выключателей с микропроцессорным и электронным расцепителями. То есть, предполагается замена устаревшего защитного коммутационного аппарата, установленного в распределительном устройстве низкого напряжения 0,4 кВ трансформаторной подстанции 6-10/0,4 кВ, на современный. В отличие от устаревших автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями, характеризующимися высокой кратностью тока срабатывания расцепителя к номинальному, например, 3 раза и более, - для микропроцессорных и электронных расцепителей данная кратность составляет 1,5 раза. При этом они также реализуются возможность регулировки номинального тока расцепителя в диапазоне 0,4-1 номинального тока автоматического выключателя [20].

Проиллюстрируем возможность защиты сельской электрической сети 0,4 кВ от токов однофазного короткого замыкания с использованием рассмотренных методов.

Цель работы заключается в демонстрации разных технических решений повышения защищённости сельской электрической сети 0,4 кВ от токов однофазного короткого замыкания.

Материалы и методы исследования

Демонстрацию разных методов повышения защищённости сельской электрической сети 0,4 кВ от токов однофазного короткого замыкания продемонстрируем на примере конфигурации радиальной электрической сети 0,4 кВ с наиболее часто используемым

оборудованием, встречаемым в электросетевых компаниях [21, 22, 23]:

- тип используемого силового трансформатора ТМ-250/10/0,4 кВ Y/Yн-0;
- протяжённость до наиболее удалённой точки электрической сети 1000 метров;
- тип и сечение используемого провода А-35;
- тип используемого защитного коммутационного аппарата – ВА51 с кратностью срабатывания электромагнитного расцепителя к номинальному току – 4 о.е. [24];
- номинальный ток защитного коммутационного аппарата – 100 А;
- нагрузочный ток линии при средней нагрузке – 50 А.

Согласно требованиям ПУЭ для рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ радиальной конфигурации необходимо использовать 2 повторных заземлителя согласно пункта 1.7.102 ПУЭ.

Для демонстрации рассмотренных способов повышения защищённости сельской электрической сети 0,4 кВ была использована компьютерная модель в программном комплексе MATLAB Simulink [25]. Параметры модели были обоснованы с учётом положений источника [26]. С использованием модели определялись значения токов однофазного короткого замыкания на различном удалении от ввода трансформатора низкого напряжения 0,4 кВ. При этом максимальная зона чувствительности защитных коммутационных аппаратов 0,4 кВ определялась по паспортным время-токовым характеристикам.

Компьютерная модель сельской электрической сети 10/0,4 кВ представлена на рисунке 1.

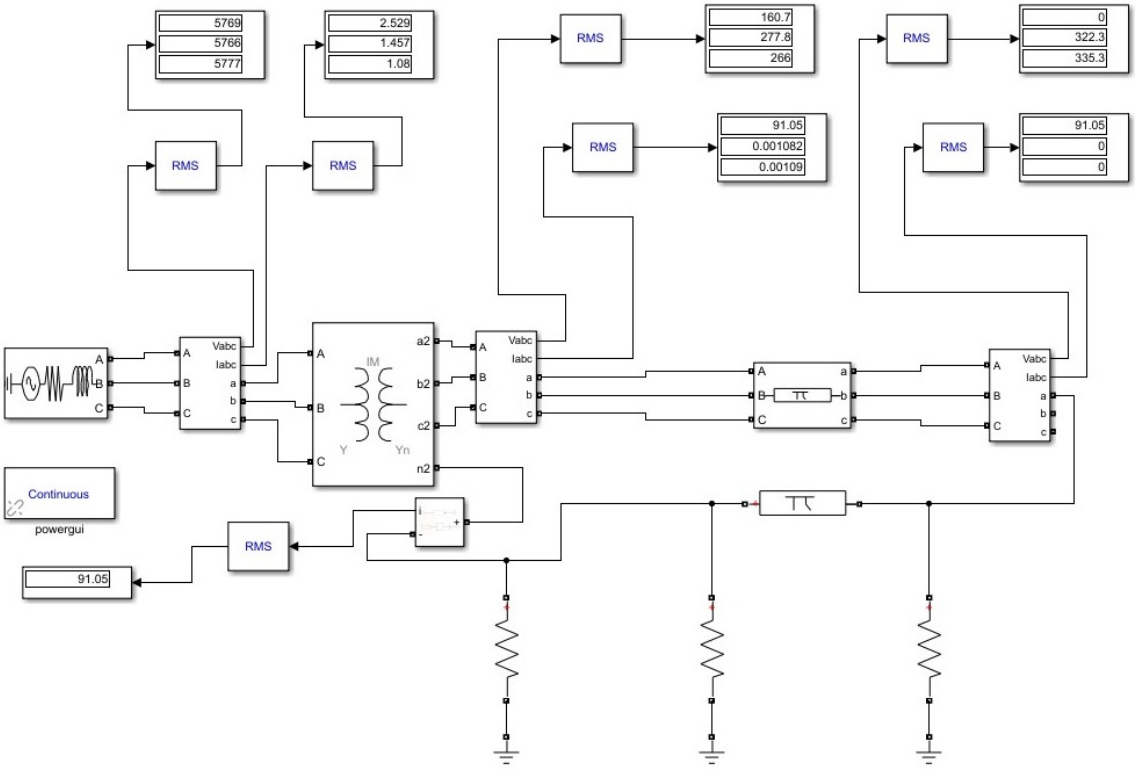


Рисунок 1 - Компьютерная модель сельской электрической сети 0,4 кВ в режиме однофазного короткого замыкания с повторными заземлениями в MATLAB Simulink

Как ранее было отмечено, кратность n, о.е., срабатывания электромагнитного расцепителя к номинальному току I_{nom}, А, защитного коммутационного аппарата типа ВА51

составляет 4. Таким образом, максимальный ток однофазного короткого замыкания, допустимый по условия чувствительности для данного типа защитного коммутационного аппарата определяется по формуле (1):

$$I_{кз.max} = n \cdot I_{nom}, \quad (1)$$

где n – кратность срабатывания электромагнитного расцепителя к номинальному току защитного коммутационного апарата, о.е.;

I_{nom} – номинальный ток защитного коммутационного аппарата, А.

С учётом формулы (1) и использованием разработанной модели в MATLAB Simulink было выявлено, что для заданного прототипа электрической сети 0,4 кВ ток однофазного короткого замыкания со значением 400 А характерен на удалении 273 метра от вывода трансформатора 0,4 кВ. При последующем удалении токи аварийного режима становятся значительно меньше, что приводит к нечувствительности защитного коммутационного аппарата к ним.

Структурная электрическая схема рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ представлена на рисунке 2.

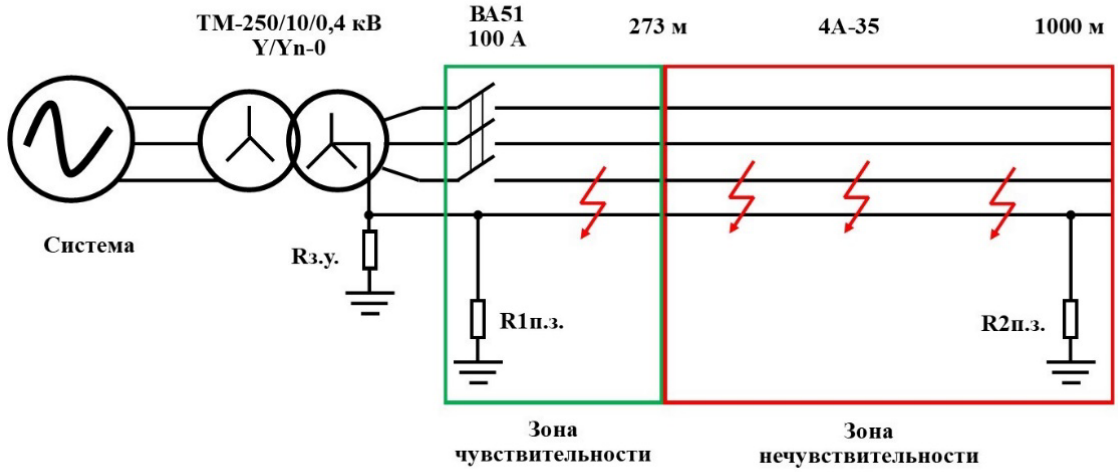


Рисунок 2 - Структурная электрическая схема рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ

Согласно структурной схеме, рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ, представленной на рисунке 2, защитный коммутационный аппарат типа BA51 с номинальным током 100 А защищает только первые 273 метра линии из 1000 метров общей протяжённости, т.е. 27% длины линии.

Продемонстрируем способы повышения защищённости электрической сети 0,4 кВ от токов однофазного короткого замыкания.

Результаты и обсуждение

Для представленной на рисунке 2 рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ было рассмотрено влияние использования дополнительных 4-х повторных заземлителей нулевого провода сопротивлениями от 10 до 30 Ом. Это техническое решение позволяет расширить зону защиты на 0,8%-2,15% от первоначальной в зависимости от сопротивления заземлителей. То есть, зона защиты при использовании 4-х повторных заземлителей нулевого провода расшириться до 275-279 метров при первоначальном значении 273 метра, что не позволяет защитить линию электропередачи 0,4 кВ полностью.

Стоимость установки одного повторного заземлителя нулевого провода оценивается в 5500 рублей, а общая стоимость технического решения оценивается в 22000 рублей [27]. Структурная электрическая схема предлагаемого технического решения повышения защищённости электрической сети 0,4 кВ за счёт использования дополнительных повторных заземлителей нулевого провода представлена на рисунке 3.

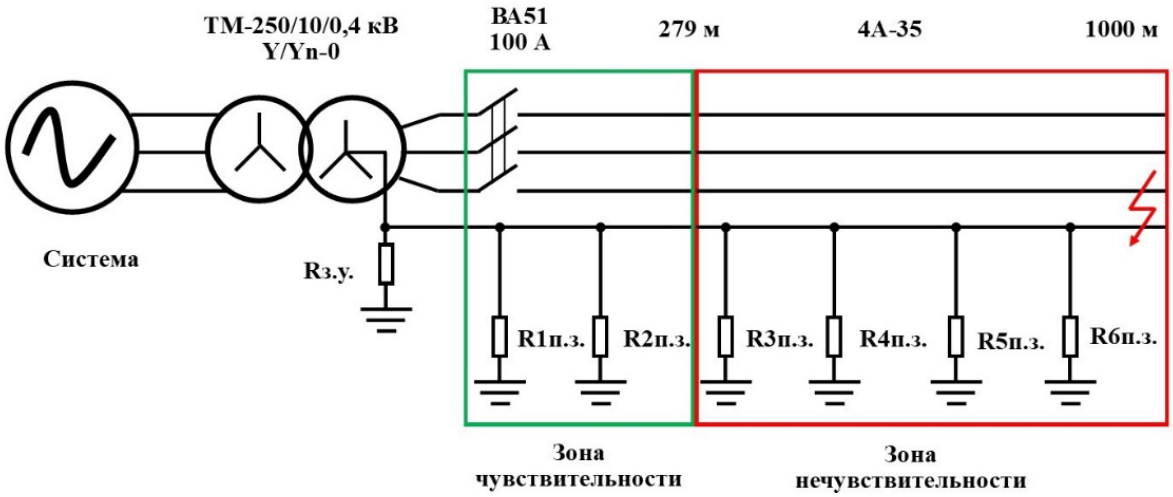


Рисунок 3 - Структурная электрическая схема сельской электрической сети 0,4 кВ с использованием дополнительных повторных заземлителей нулевого провода

С учётом полученных результатов можно сделать вывод, что использование дополнительных повторных заземлителей не позволяет значительно повысить эффективность защиты линии электропередачи 0,4 кВ от однофазных коротких замыканий.

Рассмотрим использование автоматических выключателей с микропроцессорным расцепителям для повышения защищённости электрической сети 0,4 кВ от однофазных коротких замыканий. В зависимости от номинального тока стоимость данного автоматического выключателя производства Курского электроаппаратного завода в настоящее время составляет 60.000-70.000 рублей [28]. В филиале ПАО «Россети Центр»-«Орёлэнерго» их доля составляет 5,45% от общего количества 7555 автоматических выключателей 0,4 кВ в регионе [21]. Установка автоматического выключателя данного типа, взамен существующего будет стоить 84629 рублей. При фазном токе линии 50 А возможно выставить уставку срабатывания электромагнитного расцепителя 0,6 Inom, что будет составлять 90 А при кратности срабатывания 1,5 о.е. и номинальном токе защитного коммутационного аппарата 100 А. Это позволит полностью обеспечить защиту электрической сети 0,4 кВ, так как ток однофазного короткого замыкания в наиболее удалённой точке составляет 91,05 А. Структурная схема предлагаемого решения представлена на рисунке 4.

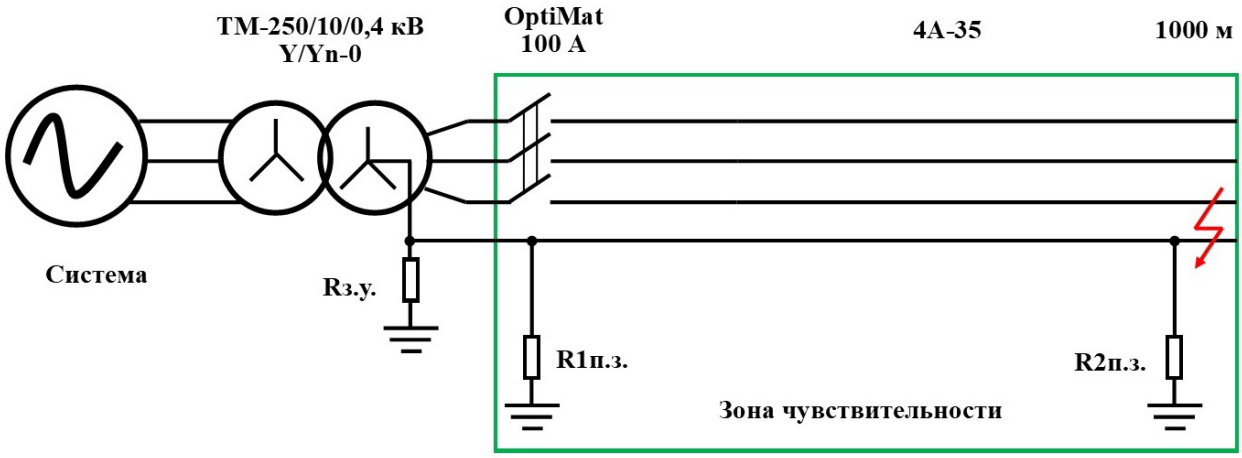


Рисунок 4 - Структурная электрическая схема сельской электрической сети 0,4 кВ с оценкой зоны защиты при использовании автоматического выключателя с микропроцессорным расцепителем.

Рассмотрим использование секционирующих предохранителей для повышения защищённости рассматриваемой линии электропередачи 0,4 кВ. При использовании данного технического решения придётся использовать несколько предохранителей с плавкими вставками для того, чтобы не ограничивать пропускную способность электрической сети 0,4 кВ, так как потребитель может быть подключен в наиболее удалённой точке сети. Рассмотрим данное решение, структурная схема которого представлена на рисунке 5.

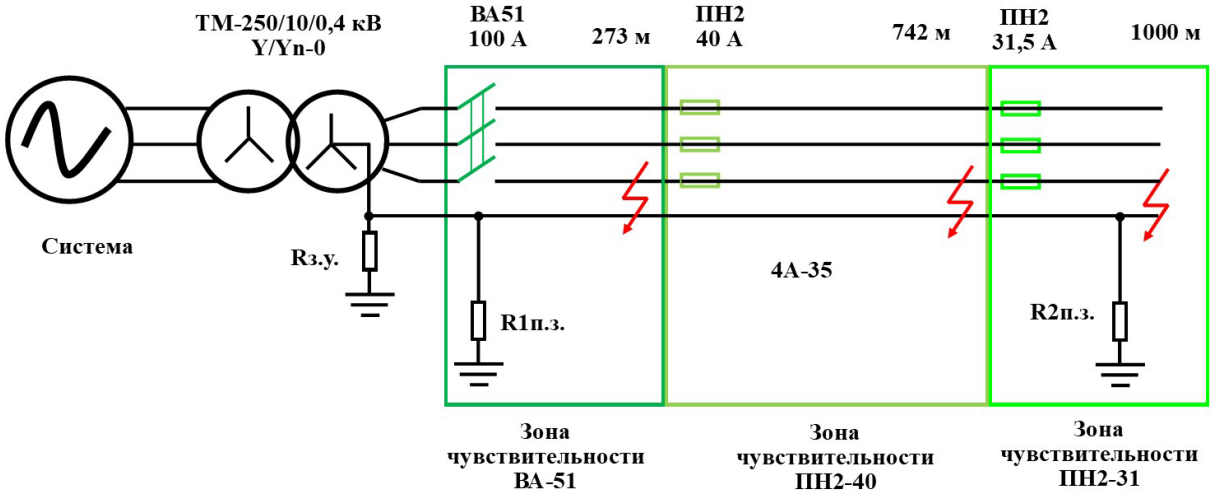


Рисунок 5 - Структурная электрическая схема сельской электрической сети 0,4 кВ с оценкой зоны защиты при использовании секционирующих предохранителей.

Как ранее было отмечено, автоматический выключатель типа ВА51 с номинальным током 100 А обеспечивает защиту первых 273 метров линии электропередачи 0,4 кВ. Далее для обеспечения пропускной способности линии электропередачи необходимо использовать плавкие предохранители типа ПН-2 с номинальным током 40 А и кратностью срабатывания 3 о.е. Они обеспечивают защиту линии до 742 метров включительно. Затем необходимо использовать предохранители ПН-2 с номинальным током 31,5 А, что позволит обеспечить защиту оставшейся части линии электропередачи 0,4 кВ. С учётом стоимости

предохранителей и вспомогательного оборудования стоимость данного решения будет составлять 36250 рублей. Аналогичные особенности секционирования будут характерны при использовании устаревших типов автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями, в случае использования которых также понадобится установка нескольких защитных коммутационных аппаратов вдоль линии электропередачи.

Наиболее рациональным решением будет использование современных секционирующих пунктов и устройств (мультиконтактных коммутационных), содержащих в качестве коммутирующего модуля вакуумные контакторы, управление которыми осуществляется микроконтроллерным блоком управления. С использованием данных устройств можно обеспечить эффективную защиту линии электропередачи, так как в микроконтроллерный блок управления можно задать любой ток срабатывания вакуумного контактора, например, 60 А для рассматриваемой линии, что позволит использовать только одно устройство в линии в отличие от секционирующих автоматических выключателей и предохранителей. Структурная электрическая схема предлагаемого решения представлена на рисунке 6.

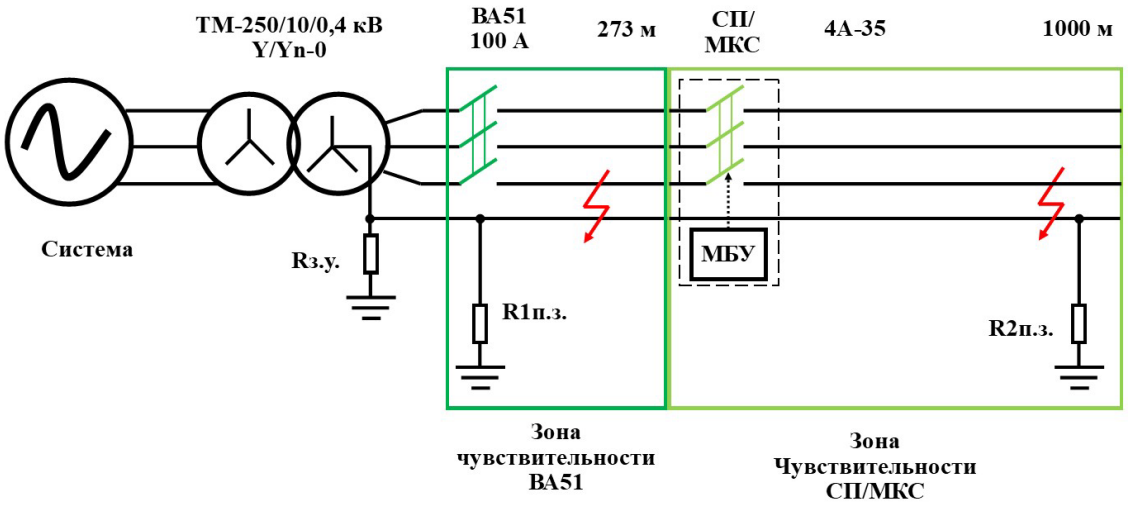


Рисунок 6 - Структурная электрическая схема сельской электрической сети 0,4 кВ с оценкой зоны защиты при использовании секционирующего пункта (мультиконтактной коммутационной системы).

Установка готового образца устройства может варьироваться от 50000 до 150000 рублей в зависимости от числа коммутационных групп и требуемого функционала. Но в отличие от других технических решений использование устройств секционирования позволит обеспечить мониторинг параметров электрической сети 0,4 кВ, реализацию функции АПВ и передачу данных о работе устройства в центр управления сетями электросетевой компании. Выбрать место установки МКС можно, используя методику, приведённую в [].

Выводы

На примере рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ была произведена оценка возможности повышения её защищённости за счёт использования 4-х дополнительных повторных заземлителей. Было выявлено, что повысить защищённость электрической сети 0,4 кВ протяжённостью 1000 метров можно на 0,8-2,15% при изначальной защищённости 273 метров линии. Это позволяет расширить зону защиты до

275-279 метров при капитальных вложениях 22000 рублей. Данное техническое решение является нецелесообразным, так как не позволяет существенно повысить защищённость линии электропередачи 0,4 кВ. Для повышения защищённости электрической сети 0,4 кВ можно использовать другие технические решения, которые позволят полностью обеспечить чувствительность защитных коммутационных аппаратов к току однофазного короткого замыкания. На примере рассматриваемой сельской электрической сети 0,4 кВ были рассмотрены разные варианты повышения защищённости: замена устаревшего автоматического выключателя на современный выключатель с микропроцессорным расцепителем с капитальными вложениями 84629 рублей; использование секционирующих предохранителей с капитальными вложениями 22000 рублей; использование современных устройств секционирования (мультиконтактных коммутационных систем) с капитальными вложениями от 50000 до 150000 рублей в зависимости от технического оснащения. Все указанные варианты позволяют полностью обеспечить защиту электрической сети 0,4 кВ.

Список использованных источников:

1. Правила устройства электроустановок [Текст] / Федеральная служба по экологическому, технол. и атомному контролю. - 7-е изд. - Санкт-Петербург: ДЕАН, 2013. - 701 с., [2] л. карты: ил., табл.; 21 см. - (Безопасность труда России).; ISBN 978-5-93630-923-6 (в пер.).

2) Саъдуллозода Ш.С. Влияние «отсоса» на условия электробезопасности системы зануления // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. №1(45). С. 90-93. EDN: PEFLTT.

3) Веденеева Л.М., Болотова А.Г., Власов В.А. Оценка влияния повторных заземлений на уровень безопасности в электрических системах TN // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. 2012. №1. С. 26-37. EDN: PZICKT.

4) Спеваков П.И. К проектированию сетей зануления в силовых установках // Электричество. 1939. №8. С. 69.

5) Ершов А.М., Валеев Р.Г. Методы и средства защиты воздушных линий напряжением 380 В от однофазных коротких замыканий // Электробезопасность. 2016. №4. С. 33-46. EDN: YOQRNM.

6) Валеев Р.Г. Концепция построения защиты электрических сетей напряжением 380 В от однофазных коротких замыканий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2013. Т. 13, №1. С. 30-34. EDN: QBUGVZ.

7) Ершов А.М., Сидоров А.И., Валеев Р.Г. Защита воздушных линий напряжением 380 В от однофазных коротких замыканий с помощью секционирующих предохранителей // Промышленная энергетика. 2016. №11. С. 17-22. EDN: XELAQZ.

8) Валеев Р.Г., Тропин С.А., Ерунова А.В., Ермолаева Н.А. Методика расстановки секционирующих плавких предохранителей в сетях до 1000 В // Электробезопасность. 2014. №4. С. 3-16. EDN: UZNAVF.

9) Валеев Р.Г. Повышение уровня электробезопасности путем секционирования воздушных линий 0,4 кВ // Электробезопасность. 2014. №2. С. 34-36. EDN: UZNART.

10) Виноградов А.В., Виноградова А.В. Секционирующий пункт для линий электропередач 0,38 кВ // Техника в сельском хозяйстве. 2014. №5. С. 4-6. EDN: UEVIJT.

11) Виноградова А.В., Виноградов А.В., Лукьянов Ю.И. Математическое моделирование электрической сети, оснащенной средствами секционирования и

резервирования и усовершенствованная схема секционирующего пункта 0,38 кВ // Вестник НГИЭИ. 2016. №12(67). С. 46-54. EDN: XICNLH.

12) Виноградова А.В., Виноградов А.В., Константинов А.В., Якунин С.Н. Модернизация пункта секционирования электрических сетей 0,38 кВ с учетом использования в качестве коммутационного аппарата вакуумного контактора LSMTEL // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. №2(12). С. 67-71. EDN UARZKR.

13) Виноградова А.В., Панфилов А.А., Виноградов А.В., Лукьянов Ю.И., Псарёв А.И. Микроконтроллерный блок управления секционирующим пунктом 0,38 кВ // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. №2(56). С. 3-13. EDN: ZTDDOH.

14) Виноградов А.В., Виноградова А.В., Псарев А.И., Хархардин А.Н. Обоснование применения секционирующих пунктов в сети 0,4 кВ с учётом показателей энергоэффективности // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. №4(58). С. 12-23. EDN: XUUWJN.

15) Виноградова А.В., Виноградов А.В., Псарев А.И., Беликов Р.П. Методика выбора мест установки и количества универсальных секционирующих пунктов с функцией АВР в электрической сети 0,38 кВ по критерию обеспечения чувствительности защитных аппаратов // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. №3(57). С. 38-49. EDN: OBSRFR.

16) Псарев А.И., Виноградова А.В. Пункт секционирования с функцией АВР для электрических сетей 0,4 кВ: схемы и варианты установки // Агротехника и энергообеспечение. 2024. №3(44). С. 33-42. EDN: LHCUAC

17) Псарев А.И., Виноградова А.В. Технико-экономическое обоснование применения секционирующих пунктов в сельских электрических сетях 0,4 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2024. №3(44). С. 65-74. EDN: QJADJW.

18) Виноградов А.В., Виноградова А.В., Псарёв А.И., Лансберг А.А., Большев В.Е. Повышение эффективности защиты линий электропередачи 0,4 кВ с отпайками от однофазных коротких замыканий за счёт применения мультиконтактной коммутационной системы МКС-2-3В // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3 (59). С. 58-63. DOI 10.12737/2073-0462-2020-58-63. EDN: FDKUEE.

19) Vinogradov A.V., Tikhomirov D.A., Vinogradova A.V, Lansberg A.A., Sorokin N.S., Belikov R.P., Bolshev V.E., Golikov I.O., Borodin M.V. (2021) Concept of Multi-contact Switching System. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_3.

20) Капустинский А.Ю., Константинова С.В. Повышение чувствительности защит в электрических сетях до 1 кВ путем применения микропроцессорных и полупроводниковых расцепителей // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 5. С. 393-407. DOI 10.21122/1029-7448-2021-64-5-393-407. EDN: AIJJAW

21) Виноградова, А. В. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации / А. В. Виноградова, А. А. Лансберг, А. В. Виноградов. – Орёл: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2023. – 360 с. – EDN: FPQAEF.

22) Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, №4(53). С. 22-29. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29. EDN: LHIRSK

23) Виноградов А.В., Лансберг А.А., Сорокин Н.С. Характеристика электросетевых

компаний по количеству и протяженности линий электропередачи, мощности подстанций // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, №2(47). С. 31-41. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-31-41. EDN: AJQSZN.

24) КЭАЗ. Выключатель автоматический ВА57. URL: https://keaz.ru/catalog/product/255117 (дата обращения: 16.12.2024 г.).

25) Лансберг А.А., Виноградов А.В., Панфилов А.А. Оценка достоверности математической модели сельской электрической сети 0,4 кВ в MATLAB Simulink на примере исследования установившегося режима однофазного короткого замыкания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. Т. 25. № 6. С. 14-28. DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-6-14-28. EDN: WCTFZT.

26) 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. EDN: RUHUEV.

27) Kubinka-Energo. Цены на электромонтажные работы. URL: https://kubinka-energo.com/price/elektromontazhnye-raboty/ (дата обращения: 16.12.2024 г.).

28) КЭАЗ. OptiMat D Автоматические выключатели в литом корпусе на токи от 16А до 250А URL: https://keaz.ru/catalog/automat/avtomaticheskie-viklyuchateli-v-litom-korpuse/optimat-d-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-40a-do-1600a/optimat-d-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-40a-do-250a. (дата обращения: 10.12.2024 г).

29) Виноградов А.В., Сейфуллин А.Ю., Букреев А.В. Определение рациональных мест размещения мультиконтактных коммутационных систем // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. N3. С. 82-90. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-58-66.

Bibliography:

1. Rules for the device of electrical installations [Text] / Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Control. - 7th ed. - St. Petersburg: DEAN, 2013. - 701 p., [2] l. map: ill., tabl.; 21 cm. - (Labor safety of Russia).; ISBN 978-5-93630-923-6 (in per.).

2) Sa'dullozoda S.S. Influence of “suction” on the conditions of electrical safety of the system of neutralization // Polytechnicheskiy vestnik. Series: Engineering Research. 2019. №1(45). C. 90-93. EDN: PEFLTT.

3) Vedeneeva, L.M.; Bolotova, A.G.; Vlasov, V.A. Estimation of the repeated earthing influence on the safety level in the TN electrical systems (in Russian) // Energetika. Innovative directions in power engineering. CALS-technologies in power engineering. 2012. №1. C. 26-37. EDN: PZICKT.

4) Spevakov, P.I. Toward the design of the nets of zanulization in the power installations (in Russian) // Elektrichestvo. 1939. №8. C. 69.

5) Ershov, A.M.; Valeev, R.G. Methods and means of protection of the 380 V overhead lines against the single-phase short circuits (in Russian) // Elektrobezopasnost. 2016. №4. C. 33-46. EDN: YOQRNM.

6) Valeev, R.G. Concept of building the protection of the 380 V electrical networks from single-phase short circuits // Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. 2013. T. 13, №1. C. 30-34. EDN: QBUGVZ.

7) Ershov, A.M.; Sidorov, A.I.; Valeev, R.G. Protection of the 380 V overhead lines from the single-phase short-circuits with the help of sectionalizing fuses // Industrial Energy. 2016. №11. C. 17-22. EDN: XELAQZ.

8) Valeev, R.G.; Tropin, S.A.; Erunova, A.V.; Ermolaeva, N.A. Methodology of sectionalizing fuses placement in networks up to 1000 V // Elektrobezopasnost. 2014. №4. C. 3-16. EDN: UZNAVF.

9) Valeev, R.G. Increase of the electrical safety level by sectionalization of the 0.4 kV overhead lines (in Russian) // Elektrobezopasnost. 2014. №2. C. 34-36. EDN: UZNART.

10) Vinogradov, A.V.; Vinogradova, A.V. Sectionalizing point for the 0.38 kV power lines (in Russian) // Technics in agriculture. 2014. №5. C. 4-6. EDN: UEVIJT.

11) Vinogradova, A.V.; Vinogradov, A.V.; Lukyanov, Yu.I. Mathematical modeling of the electrical network equipped with the means of sectionalization and redundancy and the improved scheme of the sectionalizing point of 0.38 kV // Vestnik of the National Institute of Power Engineering. 2016. №12(67). C. 46-54. EDN: XICNLH.

12) Vinogradova, A.V.; Vinogradov, A.V.; Konstantinov, A.V.; Yakunin, S.N. Modernization of the sectionalizing point of 0.38 kV electrical networks taking into account the use of the vacuum contactor LSMTEL as a switching device // Innovations in agriculture. 2015. №2(12). C. 67-71. EDN UARZKR.

13) Vinogradova, A.V.; Panfilov, A.A.; Vinogradov, A.V.; Lukyanov, Yu.I.; Psaryov, A.I. Microcontroller control unit of the 0.38 kV sectionalizing point // Vesti of the higher educational institutions of the Black Earth Region. 2019. №2(56). C. 3-13. EDN: ZTDDOH.

14) Vinogradov, A.V.; Vinogradova, A.V.; Psarev, A.I.; Kharkhardin, A.N. Justification of the sectionalizing points application in the 0.4 kV network taking into account the energy efficiency indicators // Vesti of higher educational institutions of Chernozemye. 2019. №4(58). C. 12-23. EDN: XUUWJN.

15) Vinogradova, A.V.; Vinogradov, A.V.; Psarev, A.I.; Belikov, R.P. Methodology for selecting the installation locations and the number of universal sectionalizing points with the AVR function in the 0.38 kV electrical network by the criterion of ensuring the sensitivity of the protective devices // Vesti of higher educational institutions of Chernozemye. 2019. №3(57). C. 38-49. EDN: OBSRFR.

16) Psarev, A.I.; Vinogradova, A.V. Sectionalization point with the AVR function for the 0.4 kV electrical networks: schemes and variants of installation (in Russian) // Agrotechnika i energoprovodchenie. 2024. №3(44). C. 33-42. EDN: LHCUAC

17) Psarev, A.I.; Vinogradova, A.V. Feasibility study of the sectionalizing points application in the rural electric networks of 0.4 kV (in Russian) // Agrotechnics and energy supply. 2024. №3(44). C. 65-74. EDN: QJADJW.

18) Vinogradov, A.V.; Vinogradova, A.V.; Psaryov, A.I.; Lansberg, A.A.; Bolshev, V.E. Increase of the protection efficiency of the 0.4 kV power transmission lines with dropouts from the single-phase short circuits due to the application of the multi-contact switching system MKS-2-3V // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2020. T. 15. № 3 (59). C. 58-63. DOI 10.12737/2073-0462-2020-58-63. EDN: FDKUEE.

19) Vinogradov A.V., Tikhomirov D.A., Vinogradova A.V., Lansberg A.A., Sorokin N.S., Belikov R.P., Bolshev V.E., Golikov I.O., Borodin M.V. (2021) Concept of Multi-contact Switching System. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_3.

20) Kapustunskiy, A.Yu.; Konstantinova, S.V. Sensitivity increase of the protections in the electric networks up to 1 kV by application of the microprocessor and semiconductor trip units (in Russian) // Energetika. Izvestiya vysshee obrazovaniya vysshee obrazovaniya i energeticheskikh

unions CIS. 2021. T. 64, № 5. C. 393-407. DOI 10.21122/1029-7448-2021-64-5-393-407. EDN: AIJJAW

21) Vinogradova, A. V. Energy system of the Oryol region: a review of statistical information / A. V. Vinogradova, A. A. Lansberg, A. V. Vinogradov. - Oryol: OOO Polygraphic firm “Kartush”, 2023. - 360 c. - EDN: FPQAEF.

22) Vinogradov, A.V.; Lansberg, A.A.; Vinogradova, A.V. Analysis of the configuration of the 0.4 kV electrical networks of the Oryol region // Electrotechnologies and electrical equipment in APK. 2023. T. 70, №4(53). C. 22-29. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29. EDN: LHIRSK

23) Vinogradov, A.V.; Lansberg, A.A.; Sorokin, N.S. Characterization of electric grid companies by the number and length of transmission lines, substation capacity // Electrotechnologies and electrical equipment in agroindustrial complex. 2022. T. 69, №2(47). C. 31-41. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-31-41. EDN: AJQSZN.

24) KEAZ. VA57 circuit breaker. URL: https://keaz.ru/catalog/product/255117 (date of reference: 16.12.2024).

25) Lansberg, A.A.; Vinogradov, A.V.; Panfilov, A.A. Reliability estimation of the mathematical model of the rural electric network 0,4 kV in MATLAB Simulink by an example of the steady-state mode study of the single-phase short-circuit // Izvestiya vysokikh uchebnykh uchebnykh uchebnykh uchebnykh obrazov. Problems of power engineering. 2023. T. 25. № 6. C. 14-28. DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-6-14-28. EDN: WCTFZT.

26) Valeev R.G., Mlotok A.V., Ershov A.M., Sidorov A.I. Modeling of an electric network of 380 V with overhead lines in the MATLAB-SIMULINK software environment // Izvestiya vysshee uchebnykh uchebnykh obrazovaniye. Problems of power engineering. 2013. № 9-10. C. 116-128. EDN: RUHUEV.

27) Kubinka-Energo. Prices for electrical installation works. URL: https://kubinka-energo.com/price/elektromontazhnye-raboty/ (date of reference: 16.12.2024).

28) KEAZ. OptiMat D Circuit breakers in molded case for currents from 16A to 250A URL: https://keaz.ru/catalog/automat/avtomaticheskie-viklyuchateli-v-litom-korpuse/optimat-d-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-40a-do-1600a/optimat-d-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-40a-do-250a. (date of reference: 10.12.2024).

29) Vinogradov A.V., Seifullin A.Yu., Bukreev A.V. Determination of the rational places of the multi-contact switching systems placement // Agricultural machines and technologies. 2024. T. 18. N3. C. 0-0. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-58-66.

Александр Александрович Лансберг,
младший научный сотрудник лаборатории электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, lansbergaa@vk.com

REVIEW OF PROTECTION PROTECTIONS OF RURAL 0.4 kV ELECTRICAL NETWORKS FROM SINGLE-PHASE SHORT-Circuit Faults

A.A. Lansberg

FGBNU FNAC VIM

Annotation. The paper considers technical solutions to improve the protection of rural 0.4

kV electrical networks from single-phase short circuits. During the analysis of literature sources it has been revealed that the main technical solutions to increase the protection are the use of additional re-earthing of the neutral conductor, replacement of outdated protective switching equipment with modern ones, sectionalization using fuses, sectionalizing points and multi-contact switching systems. The use of these solutions was demonstrated on the example of a radial rural 0.4 kV electrical network with the most frequently used equipment for power supply of agricultural consumers.

The use of technical solutions to improve the protection of 0.4 kV power line was realized on a computer model, which was used to determine the currents of single-phase short circuit and compared with the time-current characteristics of protective switching devices. As a prototype of the rural 0.4 kV electrical network, a 1000 meter long transmission line made with A-35 wire connected to a TM-250/10/0.4 kilovolt Y/Y/Yn transformer was taken.

It was revealed that it is possible to increase the protection of 0,4 kV electrical network with the use of 4 additional repeated grounding meters by 0,8-2,15%. Other technical solutions to increase the protection of 0.4 kV electrical network from single-phase short circuits were also considered.

It was noted that the most perfect technical solution to improve protection against single-phase short circuits is the use of modern sectionalizing points and multi-contact switching systems, as they in addition to line protection also allow to provide monitoring of electrical parameters and configuration control.

Keywords: modeling, computer model, sectionalization, single-phase short circuit, rural electrical network, fuse, circuit breaker, multi-contact switching systems.

Alexander Alexandrovich Lansberg,
Junior Researcher, Laboratory of Power Supply, Electrical Equipment and Renewable Energy, FGBNU FNAC VIM, lansbergaa@vk.com

УДК 621.313.3.025.3-78

ОБЗОР СТЕПЕНЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЭС

Е.В. Попрядухин

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

Аннотация. *В данной работе был произведён обзор степеней автоматизации дизельных электрогенераторов. Была выявлена актуальность разработки устройства мониторинга защиты электрогенератора (УМЗЭГ). В ходе анализа литературных источников было выявлено, что автоматизированные ДЭС оснащены устройствами и системами, обеспечивающими выполнение пусковых операций, контроль и управление работой в автоматическом режиме. Степени автоматизации дизельных электрогенераторов могут варьироваться в зависимости от конкретных моделей и применяемых технологий, но в основном выделяют четыре степени, которые применяются в зависимости от задач генераторной установки. Эти системы позволяют повысить эффективность работы и надежность дизельных электрогенераторов, а также облегчить процесс их эксплуатации и обслуживания. Однако все электрогенераторы могут подвергаться перегрузкам. Необходима разработка новых способов и средств защиты генераторов от различных ненормальных и аварийных режимов, в том числе, связанных с несимметрией токов и напряжений. Одной из таких разработок должно стать устройство индикации пофазной нагрузки и сигнализации о перегрузке электрогенератора. Данное устройство поможет специалистам облегчить эксплуатацию генераторов при помощи функций, которые будут в данном устройстве. Они будут видеть нагрузку на каждую фазу в генераторе, что поможет исключить несимметричный режим. В случае перегрузки генератора данное устройство так же сможет подать сигнал и персонал сможет незамедлительно исправить ошибку. В работе применялись методы литературного обзора, электронные ресурсы. Материалами исследования являлся обзор степеней автоматизации ДЭС в Российской Федерации.*

Ключевые слова: *дизельный электрогенератор, надёжность электроснабжения, степени автоматизации и защиты ДЭС, устройство УМЗЭГ*

Введение

Дизельные электрогенераторы играют важную роль в энергетической системе России. Они используются в различных сферах - от обеспечения энергией жилых и коммерческих зданий до поддержки промышленных объектов и сельского хозяйства. Дизельные генераторы обеспечивают надежное резервное электроснабжение в случае перебоев с основными источниками энергии. Это особенно актуально для удаленных и труднодоступных регионов, где подключение к централизованной электросети может быть затруднено. Дизельные электрогенераторы зачастую портативные и могут быть быстро перемещены или установлены в необходимых местах, что делает их полезными для строительных площадок, военных объектов и в ситуациях, требующих временного электроснабжения. Актуально их применение и в сельских электрических сетях для использования в качестве источников резервного питания потребителей в секционированных линиях электропередачи [1, 2, 3].

В условиях геополитических рисков и потенциальных угроз энергоснабжению, наличие дизельных генераторов способствует повышению энергетической независимости и безопасности регионов. Таким образом, дизельные электрогенераторы являются важным элементом энергетической инфраструктуры России, обеспечивая надежность, гибкость и устойчивость системы электроснабжения. Работа дизельной электростанции должна быть безопасной. Это обеспечено наличием четкого регламента и нормативной базы в виде ГОСТ ДГУ, определяющих формат и условия эксплуатации генерирующего оборудования. Эксплуатация ДЭС в России регулируется положениями ГОСТР 55006-2012, утвержденным Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в 2012 г. Указанные стандарты применяются к дизельным электростанциям мощностью до 30 тысяч кВт. [4].

Цель работы заключается в анализе степеней автоматизации ДЭС, выявить необходимость разработки УМЗЭГ.

Материалы и методы исследования

Автоматизированная установка предполагает наличие устройств и систем, обеспечивающих выполнение пусковых операций, контроль и управление работой в автоматическом режиме. Такие установки довольно точно работают в заданном режиме и без участия персонала, чья основная функция, в основном, сводится к настройке автоматизированной системы согласно заданному режиму, регулярным осмотрам, подготовкой к эксплуатации и ремонту [5].

Комплексная автоматизация дизельных электростанций по ГОСТ включает автоматическую регулировку:

- скорости вращения коленвала;
- напряжения на генераторе;
- температурного режима для воды и масла в двигателе;
- автозапуск и перевод под нагрузку;
- сигналов состояния агрегатов двигателя;
- защитной остановки при аварийных значениях температуры, давления, частоты вращения и т.д.;
- дистанционного отключения дизельного двигателя;
- сервисных операций.

Генераторы делятся на аварийные, резервные, автономные. Последние применяют в ситуациях, когда электростанция не имеет подключения к стационарной сети, т.е. является единственным рабочим источником энергии. Для таких установок автоматизация охватывает процессы запуска (дистанционного, по управляющему импульсу), организации посменной работы группы агрегатов.

Генератор может использоваться в качестве дополнительного источника питания, когда основные электроагрегаты перегружены, либо, когда решается проблема пиковой нагрузки, когда часть общей нагрузки временно распределяют при ремонте или обслуживании основных источников электроснабжения. Предназначение ДЭС для резервного электроснабжения при авариях - электроснабжение при аварии, поломке, внезапной остановке, при выходе из строя основного источника электроснабжения. Для подобного оборудования важно, чтобы автоматически поддерживалась «горячая» готовность к пуску.

Степени автоматизации дизельных электрогенераторов могут варьироваться в зависимости от конкретных моделей и применяемых технологий [6]. Основные уровни

автоматизации управления дизельными электрогенераторами:

1 - Полуавтоматическое управление. Генератор может быть запущен и остановлен автоматически по заданным условиям (например, при падении напряжения в сети), однако для выполнения других операций требуется вмешательство оператора. Система может отображать основные параметры работы, но администрация требует наблюдения за состоянием оборудования.

2 - Автоматическое управление с функциями мониторинга. Генератор автоматически запускается и останавливается в зависимости от условий нагрузки или сбоев в подаче электроэнергии. В этом режиме также доступны функции мониторинга состояния оборудования и удалённый доступ к параметрам работы через интерфейс.

3 - Полная автоматизация (АВР). Система полностью автоматизирована, она может осуществлять автоматический ввод/вывод в эксплуатацию, подключение к встречной сети, управление нагрузкой и реагирование на изменения в реальном времени. Полная автоматизация может включать системы защиты от перегрузок и другие функции, такие как автоматическое управление топливом и системой охлаждения.

4 - Интеллектуальные системы управления. Используют современные технологии, такие как IoT (internet of things - это сеть устройств, которые обмениваются друг с другом данными и командами без участия человека) и машинное обучение, для оптимизации работы генераторов. Эти системы могут самостоятельно адаптироваться к условиям эксплуатации, проводить диагностику и предлагать профилактические меры или ремонты.

Каждый уровень автоматизации персонализируется в зависимости от потребностей пользователя и специфики применения генератора [7].

В дизельных электрогенераторах используется несколько типов автоматики, обеспечивающей их эффективную и безопасную работу [8].

Основными комплектующими для автоматизации ДЭС служат:

- ✓ Контроллеры генератора. Они отвечают за мониторинг и управление работой генератора. Они контролируют параметры, такие как напряжение, частота, ток, температуру и уровень масла.
- ✓ Системы автоматического запуска и остановки. Автоматика, которая позволяет автоматически запускать и останавливать генератор в зависимости от состояния сети или спроса на электроэнергию.
- ✓ Системы защиты. Данная система включает в себя защиту от перегрузки, короткого замыкания, низкого уровня масла, перегрева и других ненормальных условий, что обеспечивает безопасность работы генератора.
- ✓ Системы автоматического регулирования частоты и напряжения. Эти системы стабилизируют выходные параметры генератора, что важно для обеспечения безопасного и качественного электрического питания.
- ✓ Интерфейсы связи и мониторинга. Многие современные генераторы оснащены системами удаленного мониторинга, которые позволяют отслеживать состояние и параметры работы генератора через интернет или специальные интерфейсы.
- ✓ GPS и системы учета топлива. Используются для мониторинга местоположения генератора и управления расходом топлива, что особенно актуально для мобильных или резервных генераторов.

Степень автоматизации ДГУ определяется ГОСТ 14228-80, где все дизели классифицируют по объему автоматизации [9]. Техническими стандартами предусмотрено четыре степени автоматизации:

Первая степень предполагает минимальный набор операций с авторегулированием частоты вращения коленвала, регулировкой напряжения, температурного режима в смазке и охлаждающей системе. Такие установки по генерации электрического тока поддерживают местное/ дистанционное управление при запуске, остановке, операциях перед пуском, после остановки, контролем частоты вращения, реверсирования. Также требуется автоподзарядка аккумулятора, благодаря которому производится пуск и питание устройств, обеспечивающих автоматизацию. В перечень требований входит наличие аварийно-предупредительной сигнализации и защиты, с индикацией показателей на щитке или пульте. Часто с этой степенью предлагается дизельная электростанция:

- Стабилизация выходных электрических параметров
- Аварийно-предупредительная сигнализация и аварийная защита
- Автоматическое поддержание нормальной работы после пуска и включения нагрузки, в том числе без обслуживания в течение 4 или 8ч

Первая степень автоматизации имеет смысл только в том случае, если в месте установки постоянно присутствует необходимый персонал, который и включит генератор при необходимости, и нет потребителей для которых критична длительность простоя на время запуска ДГУ. 1 степень автоматизации выполняет следующий минимум операций:

- автоматическое регулирование частоты вращения вала дизеля, напряжения и температуры в системах охлаждения и смазки;
- местное и(или) дистанционное управление пуском, остановом, предпусковыми и послеостановочными операциями;
- автоматическая подзарядка АКБ, обеспечивающих пуск и питание средств автоматизации;
- автоматическая аварийно-предупредительная сигнализация и защита;
- индикация значений контролируемых параметров на местном щитке и(или) дистанционном пульте.

Вторая степень расширяет автоматизацию до управления пуском, остановки, предпусковых/послеостановочных операций, частоты вращения и реверсирования (если есть), с приемом нагрузки в автономном режиме эксплуатации с сигнализацией о готовности к нагрузке. Автоматизируется совместная работа двигателей, включая автоприем нагрузки при синхронизации дизель-генераторов друг с другом и внешней средой. Такие генераторные установки должны выполнять условия по авторегулированию топливной вязкости с управлением переходом при смене вида топлива, а также поддержания готовности дизеля быстро принимать нагрузку. Предусмотрена исполнительная сигнализация и возможность экстренного пуска/остановки.

Данная степень автоматизации наиболее оптимальная, поскольку не требуется участия человека для ее запуска (экономия на персонале и на времени простоя потребителей - можно значительно продлить срок службы аккумуляторов в ИБП), дополнительно к первой степени присутствует: дистанционное и (или) автоматическое управление при пуске, работе и остановке со сроком необслуживаемой работы в течение 16 или 24 ч. 2 степень автоматизации нужна для снижения или исключения следующих затрат: потерь от простоя оборудования (например разморозка холодильника со скоропортящимся продуктом за то время пока, электрик ночью приедет в магазин и нажмет кнопку, если вообще будет известно об отключении электричества, износа аккумуляторов в ИБП) и затрат на логистику и персонал, который должен добраться до удаленного объекта и запустить генератор . Дополнительно к 1-ой степени автоматизации выполняется:

- дистанционное автоматизированное и (или) автоматическое управление пуском, остановкой, предпусковыми и послеостановочными операциями;
- автоматический прием нагрузки при автономной работе или выдача сигнала о готовности к приему нагрузки;
- автоматическое поддержание двигателя в готовности к быстрому приему нагрузки;
- автоматизированный экстренный пуск и(или) остановка;
- исполнительная сигнализация.

Третья степень предполагает дополнительное пополнение топливом, маслом, емкости охлаждения в автоматическом режиме. Должно быть установлено устройство управления вспомогательными устройствами, сервисными операциями двигателя. 3 степень, дополнительно ко второй степени включает: дистанционное и (или) автоматическое управление всеми технологическими процессами, в том числе при параллельной работе, со сроком необслуживаемой работы в течение 150 или 240 ч (для электроагрегатов и электростанций с тракторными двигателями 90 и 120 ч). 3 степень нужна для продления времени автономной работы (объект удален или опасен и т.п.). Контроллер ДГУ подключается к системе наподобие SCADA. Устанавливается дополнительный топливный бак с системой автоматической подкачки в основной. Часто к контроллеру можно подключить GSM-модем или сетевую карту. Третья степень автоматизации дополнительно ко 2-ой степени автоматизации должны выполняться:

- автоматическое пополнение расходных емкостей: топлива, масла, охлаждающей жидкости;
- автоматизированное и(или) автоматическое управление вспомогательными агрегатами и(или) отдельными операциями обслуживания двигателя.

Четвертая степень автоматизации означает, что устройство оснащено централизованным управлением двигателя и автоконтролем, а также есть функции автоматизированной диагностики отдельных систем или всего дизеля. Стабилизация выходных электрических параметров, аварийно-предупредительная сигнализация и аварийная защита. Дистанционное и (или) автоматическое управление всеми технологическими процессами. Дистанционный контроль работоспособности с элементами диагностики неисправностей и рекомендациями по их устранению. К 4 степени добавился дистанционный контроль работоспособности с элементами диагностики неисправностей и рекомендациями по их устранению - позволяет облегчить и ускорить работу обслуживающего персонала за счет более точной предварительной диагностики, что приведет к сокращению простоя и снижению стоимости работ [10].

Таблица 1. Степени автоматизации электрогенераторных установок

Степень/ Мощность	До 100 квт, час	Выше, час
Первая	4	8, 12
Вторая	24	36, 50
Третья	150	250
Четвертая	250	375

Результаты и обсуждение

Системы автоматизации позволяют повысить эффективность работы и надежность дизельных электрогенераторов, а также облегчить процесс их эксплуатации и обслуживания. Однако все электрогенераторы могут подвергаться перегрузкам. Это возникает из-за подключения большой нагрузки на одну или несколько фаз, или возникновения несимметрии

на фазах. Как итог, это приводит к механической вибрации и быстрому перегреву ротора. Необходима разработка новых способов и средств защиты генераторов от различных ненормальных и аварийных режимов, в том числе, связанных с несимметрией токов и напряжений. Это позволит предотвратить резко несимметричные режимы работы генераторов и их перегрузку.

Одной из таких разработок должно стать устройство индикации пофазной нагрузки и сигнализации о перегрузке электрогенератора. Данное устройство поможет специалистам облегчить эксплуатацию генераторов при помощи функций, которые будут в данном устройстве. Они будут видеть нагрузку на каждую фазу в генераторе, что поможет исключить несимметричный режим. В случае перегрузки генератора данное устройство так же сможет подать сигнал и персонал сможет незамедлительно исправить ошибку [11].

Выводы

Автоматизация электрогенераторных установок открывает широкие возможности для повышения их эффективности и надежности. Правильно спроектированная система автоматизации позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы и снизить риски, связанные с авариями. В условиях современных требований к качеству и надежности электроснабжения, автоматизация генераторных установок становится не только целесообразной, но и необходимой. Эти системы и устройства обеспечивают надежность, безопасность и эффективное управление электрогенераторными установками.

Благодаря разработке новых устройств, таких как УМЗЭГ можно будет заменить многие вышеперечисленные комплектующие автоматизации в ДЭС, повысить надежность, облегчить работу персонала и сохранить нормальный, рабочий режим электрогенератора.

Список использованных источников

1. Виноградов А.В., Виноградова А.В, Крамской С.В. Обоснование совместного применения средств секционирования и мобильных энергетических платформ для резервирования электроснабжения сельских потребителей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК.2023. Т. 70, № 2(51). С. 26-36. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-2-26-36. EDN DHFGBZ.

2. Виноградов А.В., Крамской С.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Обоснование мощности генераторов для резервирования в секционированных линиях электропередачи // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71, № 3(56). С. 27-34. DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-27-34. EDN RJTPMK.

3. Виноградов А.В., Большев В.Е., Виноградова А.В. [и др.]. Новые решения для сельских электрических сетей: управление конфигурацией. Сокращение потерь. Обеспечение наблюдаемости: монография. Орёл: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2024. – 236 с. – EDN HXSZKQ.

4. ГОСТ 55006-2012. Стационарные дизельные и газопоршневые электростанции с двигателями внутреннего сгорания. Нормативный документ. Режим доступа: https://journal.ecostandard.ru/upload/iblock/ac2/4293776806.pdf (Дата обращения 8.02.2025)

5. Электроагрегаты и передвижные электростанции с двигателями внутреннего сгорания. Общие технические требования. Нормативный документ. Режим доступа: https://absolutech.ru/upload/gost-r-50783-95.pdf (Дата обращения 10.02.2025)

6. Степени автоматизации. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://www.tss.ru/services/system-of-training-in-leipzig/ (Дата обращения 12.02.2025)

7. Какие бывают степени автоматизации электрогенераторных установок.

Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://upspro.ru/kakie-bivajut-stepen-avtomatizacii-jelektrogeneratornih-ustanovok (Дата обращения 14.02.2025)

8. Преимущества и инновации: автоматика управления дизельной электростанции сегодня. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://mw-power.ru/articles/preimushchestva-i-innovatsii-avtomatika-upravleniya-dizelnoy-elektrostantsii-segodnya/ (Дата обращения 16.02.25)

9. ГОСТ 14228-80. Дизели и газовые двигатели автоматизированные. Классификация по объему автоматизации. Нормативный документ. Режим доступа: https://www.brizmotors.ru/gost/gost_14228-80.pdf (Дата обращения 18.02.2025).

10. Степени автоматизации ДГА (ДЭС) по ГОСТ 14228-80 «Дизели и газовые двигатели автоматизированные» (классификация по объему автоматизации). Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://universal22.ru/wp-content/uploads/2020/12/SA.pdf (Дата обращения 20.02.2025)

11. Функциональные и основные технические требования к устройству индикации пофазной нагрузки и перегрузки электрогенератора. Попрядухин Е.В., Крамской С.В., Панфилов А.А., Виноградов А.В. Агротехника и энергообеспечение.2024. № 4 (45). С. 50-56. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_80265214_35670602.pdf (Дата обращения 22.02.2025)

Bibliography:

1. Vinogradov, A.V.; Vinogradova, A.V.; Kramskoy, S.V. Justification of the joint application of the sectioning means and mobile power platforms for redundant power supply of the rural consumers // Electrotechnologies and electrical equipment in AIC.2023. T. 70, № 2(51). C. 26-36. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-2-26-36. EDN DHFGBZ.

2. Vinogradov, A.V.; Kramskoy, S.V.; Lansberg, A.A.; Vinogradova, A.V. Justification of the generator capacity for redundancy in the sectionalized power transmission lines (in Russian) // Electrotechnologies and electrical equipment in AIC. 2024. T. 71, № 3(56). C. 27-34. DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-27-34. EDN RJTPMK.

3. Vinogradov A.V., Bolshev V.E., Vinogradova A.V. [et al]. New solutions for rural power grids: configuration management. Reduction of losses. Ensuring observability: monograph. Oryol: OOO Polygraphic firm “Kartush”, 2024. - 236 c. - EDN HXSZKQ.

4. GOST 55006-2012. Stationary diesel and gas piston power plants with internal combustion engines. Regulatory document. Access mode: https://journal.ecostandard.ru/upload/iblock/ac2/4293776806.pdf (Date of circulation 8.02.2025)

5. Electrical units and mobile power plants with internal combustion engines. General technical requirements. Normative document. Access mode: https://absolutech.ru/upload/gost-r-50783-95.pdf (Date of circulation 10.02.2025)

6. Degrees of automation. Electronic resource. Title from the screen. Mode of access: https://www.tss.ru/services/system-of-training-in-leipzig/ (Date of circulation 12.02.2025)

7. What are the degrees of automation of electric generating sets. Electronic resource. Title from the screen. Access mode: https://upspro.ru/kakie-bivajut-stepen-avtomatizacii-jelektrogeneratornih-ustanovok (Date of address 14.02.2025)

8. Advantages and innovations: control automation of diesel genset today. Electronic resource. Title from the screen. Access mode: https://mw-power.ru/articles/preimushchestva-i-innovatsii-avtomatika-upravleniya-dizelnoy-elektrostantsii-segodnya/ (Date of circulation 16.02.25)

9. GOST 14228-80. Automated diesel engines and gas engines. Classification by

automation volume. Normative document. Access mode: https://www.brizmotors.ru/gost/gost_14228-80.pdf (Date of circulation 18.02.2025).

10. Degrees of automation of DGA (DPS) according to GOST 14228-80 “Diesels and gas engines automated” (classification by automation volume). Electronic resource. Title from the screen. Access mode: https://universal22.ru/wp-content/uploads/2020/12/SA.pdf (Date of circulation 20.02.2025)

11. Functional and basic technical requirements for the device of phase load and overload indication of an electric generator. Popryadukhin E.V., Kramskoy S.V., Panfilov A.A., Vinogradov A.V. Agrotechnika i energoprovodchenie.2024. № 4 (45). C. 50-56. Electronic resource. Title from the screen. Mode of access: https://elibrary.ru/download/elibrary_80265214_35670602.pdf (Date of circulation 22.02.2025)

Евгений Владимирович Попрядухин, студент 4 курса факультета «Агротехники и энергообеспечения» направления подготовки 13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника», Орловский ГАУ, popryaduhinzhenya@mail.ru

REVIEW OF DEGREES OF AUTOMATION OF DAS

Popryadukhin E.V.

FGBOU VO Oryol GAU named after N.V. Parakhin

Annotation. In this paper a review of automation degrees of diesel electric generators was made. The relevance of the development of the electric generator protection monitoring device (UMPDG) has been revealed. During the analysis of literature sources it was revealed that automated diesel power plants are equipped with devices and systems that ensure the performance of start-up operations, monitoring and control of operation in automatic mode. Degrees of automation of diesel electric generators can vary depending on specific models and technologies used, but basically four degrees are distinguished, which are applied depending on the tasks of the generating set. These systems can improve the efficiency and reliability of diesel gensets, as well as make them easier to operate and maintain. However, all gensets can be subjected to overloads. This device will help the technicians to make the operation of generators easier with the features that will be in this device. They will be able to see the load on each phase in the generator, which will help eliminate asymmetrical operation. If the generator is overloaded, this device will also be able to signal and the personnel will be able to correct the error immediately. The methods of literature review, electronic resources were used in the work. The materials of the research were the review of degrees of automation of diesel electric power plants in the Russian Federation.

Keywords: diesel generator, reliability of power supply, degrees of automation and protection of DPP, UMZEG device.

Evgeny Vladimirovich Popryadukhin, student of 4th year of faculty “Agrotechnics and energy supply” training direction 13.03.02. “Electric power engineering and electrical engineering”, Orel SAU, popryaduhinzhenya@mail.ru

УДК 621.3.082

ВЫБОР СПОСОБА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ НА БАЗЕ «ОС» «СТРЕЛЕЦКАЯ»

И.В. Поздняков

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

Аннотация. *Задача идентификации электроприёмников в сельскохозяйственных электрических сетях является актуальной во всём мире на сегодняшний день. Подходы к решению данной задачи весьма разнообразны: от установки отдельных датчиков на каждый прибор до разработки групповых методов определения нахождения электроприёмников в сети по различным признакам – электрические характеристики, излучаемые волны звукового или светового диапазона.*

Рассмотрение существующих методов идентификации электроприёмников их выявило главные недостатки в виде сложности идентификации одинаковых или схожих по параметрам объектов, необходимости тестирования устройств в различных режимах работы. С целью устранения описанных недостатков предложен новый комбинированный метод, который наиболее приемлем для реализации соответствующей автоматизированной системы на примере телятника животноводческой фермы на базе «ОС» «Стрелецкая». Кроме того, разработана структурная схема устройства, на базе которого реализуется предложенный метод.

Ключевые слова: *электроприёмник, идентификация, электрическая сеть, электрический метод, акустический метод, пусковой ток.*

Введение

Разработка системы идентификации и диагностики режимов работы электроприёмников путём установки отдельных датчиков на каждое устройство, находящееся в электрической сети, является несложной и достаточно тривиальной задачей, которая успешно решается во всём мире на различных промышленных и сельскохозяйственных объектах. Главным недостатком такого подхода является высокая стоимость, габариты и большое количество электронных блоков подобных систем, что увеличивает вероятность отказа подобного оборудования. Разработка таких распределённых систем оправдана для сложных и многофункциональных устройств.

Альтернативным вариантом является разработка системы групповой идентификации электроприёмников с помощью электрических, акустических, оптических и других методов без установки отдельных датчиков на каждое устройство. Данный подход широко развивается в России и за рубежом, однако на сегодняшний день не обладает высокой достоверностью.

Цель исследования – проанализировать существующие методы идентификации и диагностики режимов работы электроприёмников в электрической сети и выбрать наиболее подходящий для разработки автоматизированной системы контроля состояния электроприёмников для телятника животноводческой фермы «ОС» «Стрелецкая».

Материалы и методы исследования. В работе рассмотрены публикации

отечественных и зарубежных авторов по соответствующей теме исследования за последние 5 лет.

В работе [1] идентификация электроприёмников осуществляется по совокупности факторов, являющимися характеристиками электрической сети. Нейросеть выстраивает приоритет факторов, которые вносят наибольший вклад в определение устройств, подключенных к сети. В результате наиболее значимыми факторами являются средняя пиковая мощность, средняя активная мощность и максимальная мощность. Авторы считают наименее значимыми факторами ежедневное потребление электроэнергии и время переходных процессов при подключении к сети и отключении от неё. Точность определения электроприёмников с помощью машинного обучения показали точность идентификации не менее 90%.

В работе [2] идентификация заключается в том, что в течение суток снимаются графики различных показателей каждого потребителя при отключённых остальных. К этим показателям относятся: активная и реактивная мощность, ток, напряжение сети. Для ответа на вопрос об идентификации производится сравнение графиков реального времени активной мощности с ранее отснятыми, эталонными. При невозможности определения потребителя по графику активной мощности производится дальнейшая идентификация по другим показателям – реактивной мощности, току и напряжению. Потребители со сложно прогнозируемым графиком нагрузки не могут быть определены с помощью данного алгоритма. Точность идентификации составляет 96%.

Идентификация электроприёмников в работе [3] осуществляется с помощью анализа спектрального состава потребляемого тока. Для цифровой обработки используется быстрое преобразование Фурье. Спектрального состава потребляемого тока переводится в полярные координаты и векторную форму. Это позволяет сформировать уникальные цветные изображения для каждого электроприёмника. Нейросеть распознаёт изображения и сравнивает их с эталонными для каждого электроприёмника.

Измерение уровня электромагнитного излучения потребителей лежит в основе распознавания электрпориёмников в работе [4]. Использование датчиков напряженности поля позволяет снять и проанализировать электромагнитный спектр излучения потребителей с помощью преобразования Фурье. Преимуществом метода является возможность распознавания однотипных устройств в одной сети.

Способ выявления нарушителей в электрической сети посредством анализа коэффициента гармоник напряжения сети лежит в основе статьи [5]. Данный метод не имеет прямого отношения к идентификации электроприёмников, но вполне приемлем для определения приборов, дающих сильные искажения в сеть (например, симисторные регуляторы).

В рассмотренных публикациях рассмотрены задачи непосредственной идентификации и мониторинга режимов работы электроприёмников. Далее необходимо рассмотреть материалы, где представлены диагностика электроприёмников рассмотрена для частных случаев. Несмотря на это, опыт данных публикаций может быть полезным для достижения цели, поставленной в работе.

В источниках [6], [7] и [8] применены акустические методы диагностики. В первом он используется для диагностики изоляции проводника, во втором – для выявления неисправности силовых трансформаторов, а в третьем – для диагностики состояния асинхронного двигателя. Первые два случая связаны с анализом отклика отправляемых звуковых импульсов. Для анализа состояния асинхронного двигателя анализируется спектр

его акустического излучения и проверяется наличие или отсутствие гармоник, которые присущи конкретному двигателю.

Мониторинг режима работы асинхронного двигателя в источнике [9] осуществляется с помощью спектрального анализа потребляемого тока, преобразованного в годограф. Его вид значительно изменяется при возникновении аварийного режима.

Для анализа состояния силовых трансформаторов в работе [10] предложен тепловой метод. Построение карты тепловых поверхностей обеспечивает выявление критических точек объектов и сравнение значений температур с эталонными.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена план телятника «ОС» «Стрелецкая».

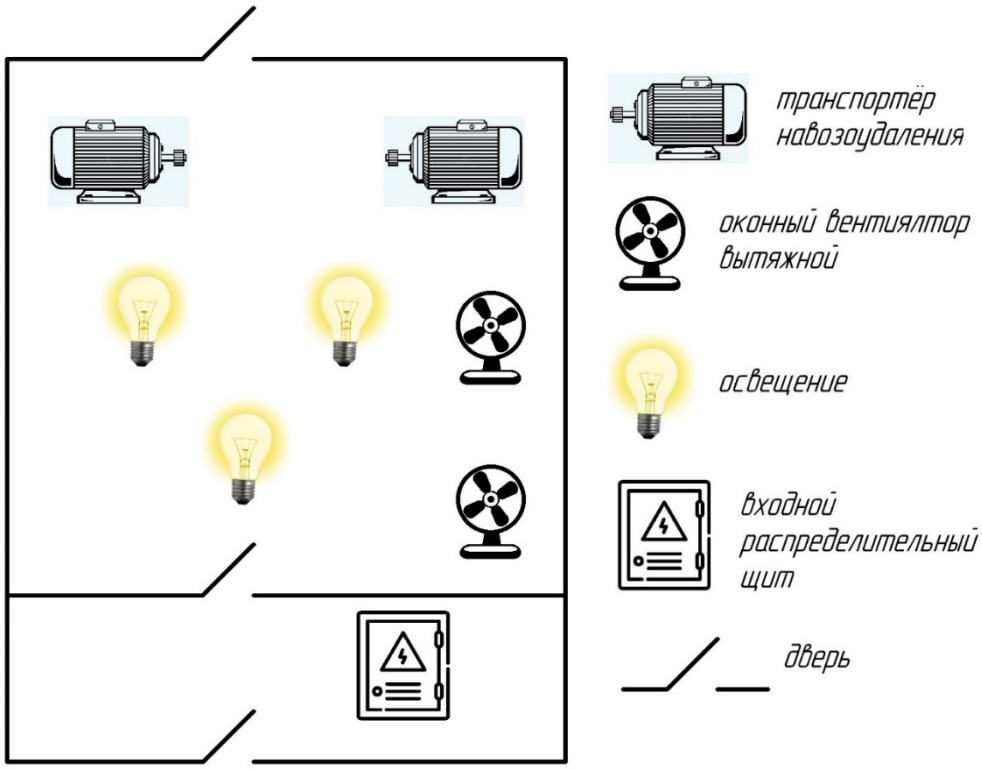


Рисунок 1 – План телятника «ОС» «Стрелецкая»

Основными потребителями в телятнике являются транспортёры навозоудаления, оконные вытяжные вентиляторы и светодиодные лампы. Транспортёры и вентиляторы реализованы на базе асинхронных двигателей. Питание на устройства поступает с входного распределительного щита.

Схема релейно-контакторного управления нагрузкой представлена на рисунке 2. Напряжение поступает через автоматический выключатель QF1. Для каждого двигателя реализована отдельная схема пуска, но на схеме показана лишь одна, так как они являются одинаковыми. Напряжение на двигатели подаётся через контактор KM1, включение которого осуществляется посредством кнопок S4 и S5. Линии питания освещения равномерно распределены по фазам и включаются выключателями S1 – S3.

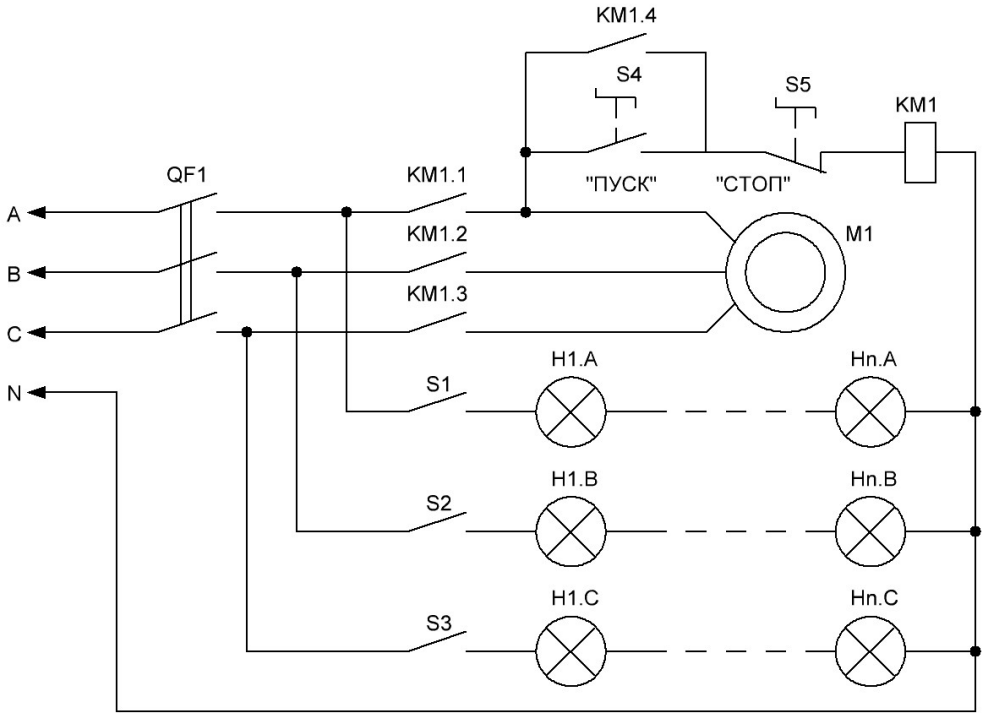


Рисунок 2 – Схема управления нагрузкой телятника «ОС» «Стрелецкая»

Таким образом, задача сводится к идентификации индуктивной нагрузки, которой являются асинхронные двигатели и осветительной нагрузки, которой являются лампы освещения.

Ответ на вопрос о включения каждой отдельной лампы не имеет смысла, поскольку их задача состоит в обеспечении заданного уровня освещённости. Исходя из этого целесообразно применение оптических датчиков, которые способны контролировать параметры освещения.

При идентификации асинхронных двигателей можно столкнуться со следующими проблемами:

1) Осуществление контроля по каждой из трёх фаз питающей сети;

2) Спектр тока двигателя может быть значительно искажён за счёт старения обмоток и других неисправностей;

3) Асинхронный двигатель нельзя назвать электроприёмником с легко прогнозируемым поведением. Его выходные характеристики зависят от механической нагрузки на валу;

4) Если в сети имеются двигатели разной мощности, то возможен эффект наложения спектров, что сделает выделение спектра одного двигателя трудноосуществимой задачей.

Вышеперечисленные сложности требуют точного определения параметров электродвигателей в различных режимах работы и прогнозирования их поведения. Эти факторы ограничивают возможности идентификации асинхронных двигателей с помощью электрических методов.

Использование преобразователей частоты, соединённых в единую промышленную сеть RS-485 решает все описанные проблемы, однако данный метод является весьма дорогостоящим.

Альтернативой электрическому методу идентификации электродвигателей является

акустический метод. Его преимущество в том, что спектр звука, издаваемый вращающимися механическими деталями, является более уникальным, чем спектр тока. Но при этом можно столкнуться со следующими трудностями:

1) Фильтрация спектра асинхронного двигателя от прочих акустических шумов;

2) Установка акустических датчиков в каждом помещении, где находятся асинхронные двигатели.

Поскольку в рассматриваемом телятнике используются две пары одинаковых двигателей и линейка одинаковых светильников, то методы идентификации электроприёмников, описанные в источниках, неприемлемы, потому что не рассматривают случаи идентификации потребителей с одинаковыми параметрами и схожими спектрами электрических характеристик.

Наиболее рациональным вариантом является разработка комбинированного метода, в котором нивелируются недостатки всех вышерассмотренных методов. Его суть заключается в идентификации асинхронных двигателей по переходному процессу среднеквадратического значения тока. Во время работы электропривода будет осуществляться диагностика его исправности по акустическим шумам. Уровень освещённости контролируется оптическими датчиками и сравнивается с нормальным для каждого времени суток. При снижении допустимого уровня приходит сообщение об ошибке и неисправности светильников.

На рисунке 3 представлена структурная схема измерительной системы для телятника.

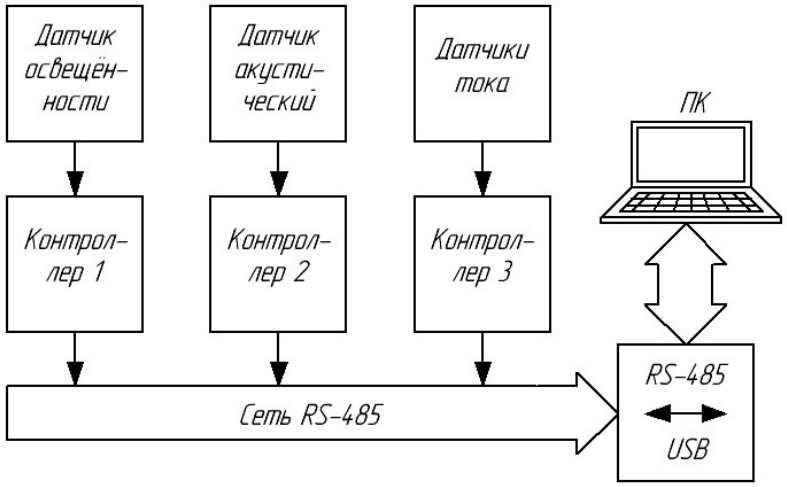


Рисунок 3 – Структурная схема измерительной системы для телятника «ОС» «Стрелецкая»

Блоки контроллеров представляют из себя модули, реализованные на микроконтроллерах. Контроллер 1 измеряет уровень освещённости, контроллер 2 производит анализ акустических данных двигателей, контроллер 3 снимает данные об электрических характеристиках сети для идентификации асинхронных двигателей. Контроллеры подключены в единую сеть RS-485, а с помощью преобразователя интерфейсов сигналы промышленной сети преобразуются в сигналы USB для вывода данных на персональный компьютер. Он представляет собой моноблок с сенсорной панелью ввода-вывода и установлен вблизи распределительного щита. Если требуется автоматизация нескольких объектов, то подобная измерительная схема устанавливается на каждый из них, а компьютеры связываются между собой посредством сети Интернет и выводят данные на

общий сервер. Таким образом, осуществляется удалённый контроль за объектом.

Выводы

В ходе работы были проанализированы материалы отечественных и зарубежных источников по теме идентификации электроприёмников в электрической сети. В существующих решениях был выявлен существенный недостаток, который заключался в невозможности применения методов для определения нескольких одинаковых нагрузок или нагрузок со схожими характеристиками. Для реализации системы идентификации электроприёмников для телятника «ОС» «Стрелецкая» был предложен новый комбинированный метод и разработана структурная схема измерительного комплекса. Метод предполагает комплексную оценку состояния электроприёмников с учётом их индивидуальных особенностей. Распознавание включения асинхронных двигателей осуществляется с помощью анализа среднеквадратического значения тока переходного процесса, их работа диагностируется акустическим методом, а исправность светильников определяется посредством контроля освещённости телятника.

Список использованных источников:

1. Andrea Tundis, Ali Faizan, Max Mühlhäuser. A Feature-Based Model for the Identification of Electrical Devices in Smart Environments // Italian National Conference on Sensors. 2019. N19(11):2611. DOI:10.3390/s19112611

2. V. Abeykoon, Nishadi Kankanamdurage, A.G.R.D. Senevirathna, Pasika Ranaweera, Rajitha Udawalpola. Electrical Devices Identification Through Power Consumption Using Machine Learning Techniques // International Journal of Simulation Systems, Science & Technology. 2016. N17(32). DOI:10.5013/IJSSST.a.17.32.13

3. Nian He, Dengfeng Liu, Zhichen Zhang, Zhiquan Lin, Tiesong Zhao, Yiwen Xu. Learning-Based Non-Intrusive Electric Load Monitoring for Smart Energy Management // Sensors. 2024. N24(10):3109. DOI:10.3390/s24103109.

4. Alanson P Sample, Jack Yang. EM-ID: Tag-less identification of electrical devices via electromagnetic emissions // 2016 IEEE International Conference on RFID (RFID). 2016. DOI: 10.1109/RFID.2016.7488014.

5. Медведева С. Н., Чернецов М. В., Чернецова М. М. Метод идентификации потребителей электроэнергии, генерирующих в сетях общего электроснабжения помехи, превышающие нормированные значения показателей качества // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. N2(34). С. 121-131. EDN: VUKBFB. DOI: 10.21685/2227-8486-2020-2-9.

6. Aleksey Bukreev, Alexander Vinogradov, Vadim Bolshev, Vladimir Panchenko. Conductor Identification Using Acoustic Signal Method // Sustainability. 2022. N14(12):7297. DOI:10.3390/su14127297.

7. Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Карандаева О.И., Мостовой С.Е., Чертоусов А.А. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: энергетика. 2008. N26(126). С. 26-31. EDN: JWKAML.

8. Панов А.Н., Бодров Е.Э., Лысенко А.А., Кривошеев Д.А. Киртянов Н.И. Применение направленного микрофона для диагностики технического состояния электропривода по его акустической вибрации // Электротехнические системы и комплексы. 2019. N4(45). С. 58-63. EDN: NSPGBD. DOI: 10.18503/2311-8318-2019-4(45)-58-63.

9. Бирюков А.Э., Сорокин Д.Г., Лысов Н.В., Ситников М.С. Диагностический

алгоритм анализа тока асинхронных электродвигателей, основанный на методиках оценки годографа и частотного спектра // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. N4(80). С. 88-101. EDN: DPJMPV. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.4(80).88-101.

10. Сухачев И.С., Шеломенцев В.А., Хмара. Г.А., Сидоров. В.С., Попов Е.И., Швецова А.А. Идентификация состояния силовых трансформаторов 110(35)/10 кВ на основе анализа данных тепловизионного обследования и методов искусственного интеллекта // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2024. N2(20). С. 22-36. DOI: 10.17122/1999-5458-2024-20-2-22-36.

Bibliography:

1. Andrea Tundis, Ali Faizan, Max Mühlhäuser. A Feature-Based Model for the Identification of Electrical Devices in Smart Environments // Italian National Conference on Sensors. 2019. N19(11):2611. DOI:10.3390/s19112611

2. V. Abeykoon, Nishadi Kankanamdurage, A.G.R.D. Senevirathna, Pasika Ranaweera, Rajitha Udawalpola. Electrical Devices Identification Through Power Consumption Using Machine Learning Techniques // International Journal of Simulation Systems, Science & Technology. 2016. N17(32). DOI:10.5013/IJSSST.a.17.32.13

3. Nian He, Dengfeng Liu, Zhichen Zhang, Zhiquan Lin, Tiesong Zhao, Yiwen Xu. Learning-Based Non-Intrusive Electric Load Monitoring for Smart Energy Management // Sensors. 2024. N24(10):3109. DOI:10.3390/s24103109.

4. Alanson P Sample, Jack Yang. EM-ID: Tag-less identification of electrical devices via electromagnetic emissions // 2016 IEEE International Conference on RFID (RFID). 2016. DOI: 10.1109/RFID.2016.7488014.

5. Medvedeva C. N. N., Chernetsov M. V., Chernetsova M. M. Method of identification of electric power consumers generating in the networks of general power supply interference exceeding the normalized values of quality indicators // Models, systems, networks in economics, engineering, nature and society. 2020. N2(34). C. 121-131. EDN: VUKBFB. DOI: 10.21685/2227-8486-2020-2-9.

6. Aleksey Bukreev, Alexander Vinogradov, Vadim Bolshev, Vladimir Panchenko. Conductor Identification Using Acoustic Signal Method // Sustainability. *2022. N14(12):7297. DOI:10.3390/su14127297.*

7. Karandaev, A.S.; Evdokimov, S.A.; Karandaeva, O.I.; Mostovoy, S.E.; Chertousov, A.A. Control of the technical condition of the power transformers by the acoustic diagnostics method // Bulletin of the South Ural State University. Series: power engineering. 2008. N26(126). C. 26-31. EDN: JWKAML.

8. Panov, A.N.; Bodrov, E.E.; Lysenko, A.A.; Krivosheev, D.A.; Kirtyanov, N.I. Application of the directional microphone for diagnostics of the technical condition of the electric drive by its acoustic vibration // Electrotechnical systems and complexes. 2019. N4(45). C. 58-63. EDN: NSPGBD. DOI: 10.18503/2311-8318-2019-4(45)-58-63.

9. Biryukov, A.E.; Sorokin, D.G.; Lysov, N.V.; Sitnikov, M.S. Diagnostic algorithm of the induction motors current analysis based on the methods of the hodograph and frequency spectrum estimation (in Russian) // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2023. N4(80). C. 88-101. EDN: DPJMPV. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.4(80).88-101.

10. Sukhachev, I.S., Shelomentsev, V.A., Khmara. G.A., Sidorov. V.S., Popov E.I., Shvetsova A.A. Condition identification of the 110(35)/10 kV power transformers on the basis of

the thermal imaging inspection data analysis and the artificial intelligence methods // Electrotechnical and information complexes and systems. 2024. N2(20). C. 22-36. DOI: 10.17122/1999-5458-2024-20-2-22-36.

Илья Васильевич Поздняков, аспирант ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет, 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69.
Тел.+79192601672, e-mail: pozdnyakov.200011@mail.ru

SELECTION OF THE METHOD OF IDENTIFICATION OF ELECTRIC RECEIVERS IN THE ELECTRIC NETWORK ON THE EXAMPLE OF A CATTLE FARM ON THE BASIS OF "OS" "STRELETSKAYA"

И.V. Pozdnyakov

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin

Annotation. The task of identification of electric receivers in agricultural electrical networks is actual all over the world today. Approaches to the solution of this problem are very diverse: from installation of separate sensors for each device to the development of group methods of determining the location of electrical receptors in the network by various features - electrical characteristics, emitted waves of sound or light range.

Consideration of existing methods of identification of electric receivers has revealed the main disadvantages in the form of complexity of identification of identical or similar objects by parameters, the need to test devices in different modes of operation. In order to eliminate the described disadvantages, a new combined method is proposed, which is most suitable for the realization of the corresponding automated system on the example of the calf barn of the cattle-breeding farm on the basis of "OS" "Streletskaya". Besides, the structural scheme of the device, on the basis of which the proposed method is realized, is developed.

Key words: electric receiver, identification, electric network, electro-tric method, acoustic method, inrush current.

Ilya Vasilievich Pozdnyakov, postgraduate student, FGBOU VO Oryol State Agrarian University, 69, Generala Rodina St., Oryol, 302019.
Tel.+79192601672, e-mail: pozdnyakov.200011@mail.ru

УДК 621.316.17:621.311.4

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 КВ

Д.С. Королёв

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

Аннотация. *Целью исследования является анализ текущего состояния сельских электрических сетей 0,4 кВ, выявление существующих проблем и определение перспективных направлений развития для повышения надежности и энергоэффективности электроснабжения сельских потребителей. Использован метод обзора и анализа существующих проблем систем электроснабжения сельского хозяйства. Проанализировано состояние электрических сетей 0,4 кВ Орловской области. Выявлено, что только 50% сельских линий 0,4 кВ соответствуют нормам ПУЭ по допустимой протяженности, а 43% линий выполнены голыми алюминиевыми проводами сечением 25 мм2. Отмечен низкий уровень автоматизации и цифровизации сельских электрических сетей, а также преобладание тупиковых радиальных схем электроснабжения. Рассмотрены принципы и технические решения для управления конфигурацией электрических сетей 0,4 кВ, включающие использование мультиконтактных коммутационных систем, систем мониторинга и диспетчеризации, а также управляемых коммутационных аппаратов. Сделан вывод о необходимости модернизации сельских электрических сетей с применением интеллектуальных технологий для повышения их надежности, управляемости и энергоэффективности.*

Ключевые слова: *сельские электрические сети, электрические сети 0,4 кВ, конфигурация электрической сети, обзор состояния, перспективы развития, электроэнергетика, электроснабжение сельских потребителей, энергоэффективность, Smart Grid (умные сети), цифровизация электросетей, микросети, интеллектуальный учет, системы мониторинга и диагностики, управление нагрузкой, автоматизация и диспетчеризация.*

Введение

Современное развитие сельского хозяйства предъявляет повышенные требования к надежности и качеству электроснабжения. Сельские электрические сети 0,4 кВ, как правило, характеризуются большой протяженностью линий, устаревшими технологиями и высокой степенью износа оборудования. Существующие конфигурации сетей не обеспечивают требуемый уровень надежности и энергоэффективности, что приводит к перерывам в электроснабжении, снижению качества электроэнергии и увеличению потерь.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к внедрению технологий Smart Grid в распределительные сети, в том числе и в сельской местности. Однако, вопросы адаптации и применения этих технологий к специфическим условиям сельских электрических сетей 0,4 кВ требуют дальнейшего изучения и разработки.

Цель работы заключается в анализе состояния сельских электрических сетей 0,4 кВ, выявлении проблем и определении перспективных направлений их развития для повышения надежности и энергоэффективности электроснабжения.

Материалы и методы исследования

Сельские электрические сети (СЭС) имеют малую единичную мощность и рассредоточенность потребителей, в связи с чем линии электропередач в сельской местности обладают большой протяженностью. По большей части, электроснабжение сельских потребителей электроэнергии осуществляется по сетям напряжением 0,4 кВ. При этом линии электропередачи (ЛЭП) являются самым ненадежным элементом сельских систем электроснабжения из-за их большой протяженности и влияния на них большого числа различных внешних воздействий. Около 90% отключений в сельских сетях приходятся на долю ЛЭП [8].

Существенным недостатком сельских распределительных электрических сетей низкого напряжения можно считать их конфигурацию, не имеющую возможностей управления. Можно сказать, что на данный момент СЭС в большей степени устарели. Они не справляются с современной нагрузкой и не соответствуют требуемым показателям надежности и качества электроэнергии, поскольку были спроектированы в 60-70 годах прошлого века. При проектировании и строительстве систем электроснабжения в сельской местности исходили при расчётах из установленной мощности на каждое подворье 1,3 кВт. Современные бытовые условия жизни требуют увеличения потребления электрической мощности в среднем в пять раз. В большинстве своем сельские линии электроснабжения 0,4 кВ не соответствуют требуемой по ПУЭ протяженности до конечного потребителя в 500 м, выполнены голыми алюминиевыми проводами и имеют недостаточное сечение провода для современного потребителя, что приводит к большим потерям и ухудшению качества электроэнергии.

Результаты и обсуждение

По информации на 2023 год в Орловской области по нормам ПУЭ по допустимой протяженности до наиболее удаленной точки в 500 метров соответствует лишь половина сельских линий 0,4 кВ.



Рисунок 1- Протяженность воздушных линий электропередачи 0,4 кВ до наиболее удаленной точки, в метрах [3, 17]

Общая протяженность линий электропередачи – 340,632 км. Из них, голые неизолированные провода составляют 212,032 км от общей протяженности линии, 120,462 км от общей протяженности линии составляют СИП, а протяженность кабелей, используемых для монтажа выводов из коммутационных аппаратов до опорных изоляторов распределительных устройств 0,4 кВ трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ, составляет 8,138 км.



Рисунок 2 - Типы проводов в сельских распределительных сетях 0,4 кВ [17]

В линиях сельской местности распространены голые алюминиевые провода сечением 25 мм^2 и 35 мм^2, которые составляют по 43% от общей протяженности анализируемых линий, соответственно. Согласно пункту 2.4.13 правил устройства электроустановок на ВЛ 0,4 кВ должны применяться самонесущие изолированные провода (СИП) [3].

Сельские электрические сети характерны наличием большого количества потребителей 3 категории, имеющих однофазное исполнение, вызывающее несимметрию напряжений линии. Неравномерное использование электрооборудования в каждом доме, приводит к неравномерной нагрузке на фазах, что неизбежно ведёт к перекосам фазного напряжения, тем самым резко уменьшает качество электроэнергии в сети. Жителям, чьи дома расположены ближе к началу линии, падение напряжения не очень заметны, но для тех жителей, чьи дома расположены ближе к средине, а особенно, в конце линии, провалы напряжения могут отразиться некорректной работой электроприборов и даже выходом их из строя [12].

Уровень автоматизации и цифровизации сельских электрических сетей номинальных классов напряжения 0,4, 6, 10, 35 кВ остается по-прежнему очень низким. Схемы электроснабжения в сети номинального напряжения 0,4 кВ по большей части тупиковые радиальные, радиальные с отпайками. Основным источником электроэнергии сельских сетей 0,4 кВ служат трансформаторные пункты 10/0,4 кВ, источник питания, как правило, один, сетевое резервирование отсутствует. Схемы электроснабжения сельских потребителей с несколькими источниками в большинстве случаев отсутствуют. Такие обстоятельства приводят к снижению надежности электроснабжения объектов сельского хозяйства,

ухудшению показателей качества электрической энергии, увеличению времени восстановления электроснабжения, возникновению ущерба от недоотпуска. Так, перерывы в электроснабжении часто превышают 72 ч в год, отклонение напряжения на вводах превышает 5 % более чем в 50 % случаев измерений по обращениям потребителей [13].

К категории сельских относится большое число разнообразных потребителей электрической энергии, таких как: жилые одноквартирные дома, включающие в себя осветительные и бытовые электроприёмники; административные здания (медпункты, школы, клубы, магазины); производственные потребители хозяйств (животноводческие фермы, зерноочистительные пункты, теплицы, хранилища сельскохозяйственной продукции, мельницы, гаражи, ремонтные цеха и объединения по ремонту техники); предприятия агропромышленного комплекса (хлебоприёмные пункты, предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции). Электроснабжение данных потребителей имеет свои особенности. Плотность электрических нагрузок сельских районов низкая. Она составляет 5...10 кВт/км^2. В отдельных случаях может достичь 15…20 кВт/км^2 [10, 12].

Правилами устройства электротехнических установок все электроприемники подразделяются на три категории, каждая из которых характеризуется своими требованиями в отношении надежности электроснабжения.

Самые высокие требования предъявляются к надежности электроснабжения потребителей 1 категории. К ним относятся крупные молочные фермы и комплексы на 400 голов и более, откормочные предприятия с годовым откормом на 12 тыс. свиней и более, 5тыс. крупного рогатого скота, птицефабрики с более чем 100 тыс. кур-несушек и др. На этих предприятиях не допускается даже кратковременных перерывов, поэтому они должны иметь независимое питание по второй линии электропередачи с автоматическим включением резерва [10, 12].

К потребителям второй категории относятся животноводческие и птицеводческие фермы с меньшей производственной мощностью, чем указано для потребителей 1 категории; тепличные комбинаты и рассадные комплексы; кормоприготовительные заводы; картофелехранилища емкостью более 500 т с холодоснабжением и активной вентиляцией; холодильники для хранения фруктов емкостью более 600 т и т.п. Для потребителей второй категории допускаются перерывы в электроснабжении на время включения резервного питания дежурным персоналом. Такие потребители, как правило, должны обеспечиваться сетевым резервом [10].

Потребителями третьей категории являются все остальные сельскохозяйственные потребители. Правилами устройства электроустановок перерыв в электроснабжении потребителей третьей категории допускается на время выполнения ремонта, но не более одних суток [7, 9, 10].

Наряду с надежностью электроснабжения большое влияние на сельскохозяйственное производство оказывает качество электроэнергии, получаемой потребителем. Требования к показателям качества электроэнергии (ПКЭ) установлены следующими нормативными документами – приказ МЭ №690 и ГОСТ 32144-2013.

К показателям качества электрической энергии относятся: отклонение частоты; отклонения напряжения; колебания напряжения; доза фликера; несинусоидальность напряжения; несимметрия напряжений в трехфазных системах; провалы напряжения; перенапряжения [6].

В условиях постоянно растущего потребления электрической энергии важнейшей задачей является ее рациональное распределение и использование. Управление

конфигурацией электрических сетей - это комплекс мер, реализуемых оперативным персоналом с использованием систем релейной защиты и автоматики, а также средств дистанционного управления, направленных на целенаправленное изменение режимов работы и состояния оборудования. Основная задача данного процесса – поддержание заданных параметров надежности, качества и непрерывности электроснабжения [13].

Управления конфигурацией СЭС включает в себя следующие ключевые элементы:

- Мультиконтактные коммутационные системы (МКС) - коммутационные аппараты с несколькими независимыми контактными группами, устанавливаемые в распределительных сетях для секционирования и резервирования. Они автоматически изменяют конфигурацию сети при перегрузках или авариях, управляются по командам оператора, секционируют сеть для локализации повреждений и перераспределяют нагрузку. Оснащение МКС устройствами мониторинга, учёта, контроля и управления обеспечивает сбор данных о режимах работы и обмен информацией с центром управления.

- Комплекс систем контроля и управления, включающий в себя систему контроля оборудования, отслеживающую состояние элементов сети, и систему мониторинга, собирающую данные о состоянии сети, режимах работы, надежности и качестве электроэнергии. Система учета фиксирует потребление электроэнергии, перерывы в электроснабжении и работу оборудования, а система управления обеспечивает централизованное управление всеми элементами сети [5, 8].

- Базы данных, хранящие и организующие информацию о потребителях, оборудовании, надежности, качестве электроэнергии и технологических присоединениях, служа основой для анализа, прогнозирования и принятия решений [5, 8].

- Система диспетчеризации, или Центр диспетчерского управления (ЦДУ). Является центральным пунктом управления сетью, собирающим и анализирующим данные, выдающим команды управления и предоставляющим информацию персоналу. ЦДУ включает блок управления сетью (БУС), средства отображения информации, средства связи и диспетчеров с автоматизированными рабочими местами. В ЦДУ используется искусственный интеллект для прогнозирования отказов, нагрузок и ущерба, а также для управления конфигурацией сети, качеством электроэнергии и нагрузками, и для планирования развития сети. Управление может быть автоматическим (БУС) или ручным (диспетчером) с возможностью приоритета автоматического режима [4, 8].

Центр диспетчеризации сети (ЦДС) включает в себя блок управления сетью (БУС), кроме того, средства отображения информации о режимах работы сети и состоянии оборудования (ситуации в сети), средства приёма и передачи данных, персонал, контролирующий сеть и управляющий ею (диспетчеры сети) и их автоматизированные рабочие места. Осуществляется автоматическое управление сетью с помощью БУС, а при необходимости – ручное управление, осуществляемое диспетчером, отдающим команды на переключения в сети, на управление оборудованием, регулирующим параметры режима работы сети. При этом задаётся приоритет автоматического и ручного управления на различные операции по управлению сетью. Диспетчер также может перевести управление полностью в ручной режим [5, 8].

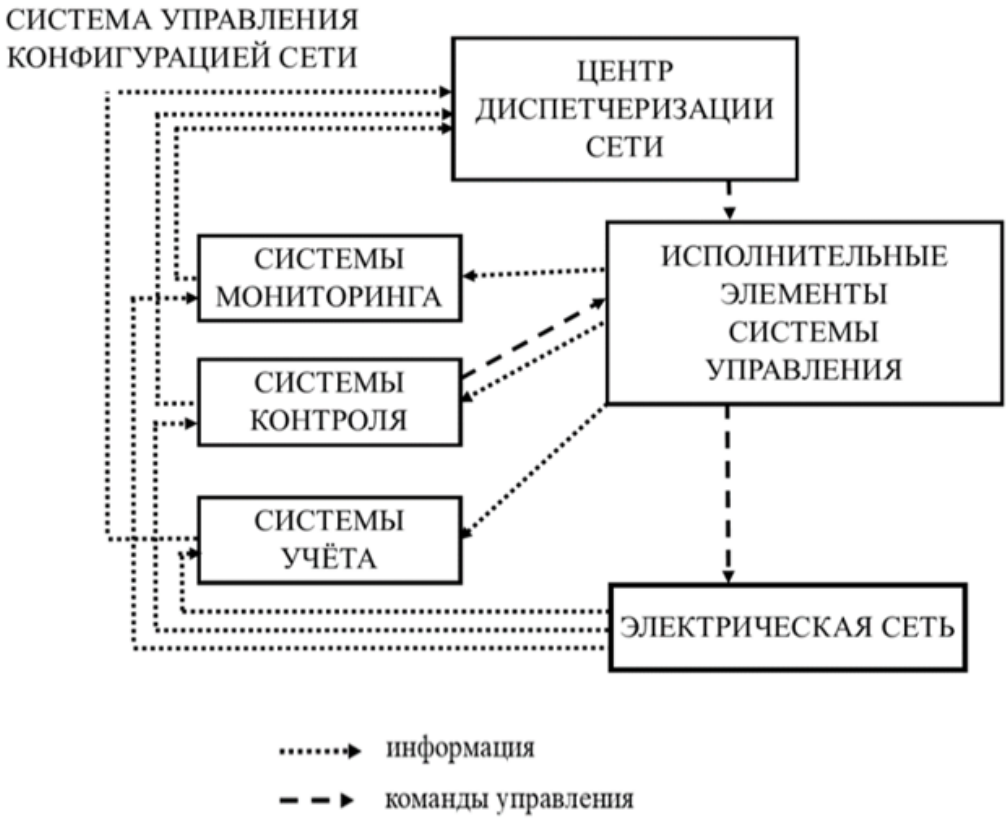


Рисунок 3 - Структурная схема системы управления конфигурацией электрической сети [8]

Эффективное управление конфигурацией электрических сетей требует, чтобы они были спроектированы и построены на основе следующих принципов:

- Мониторинг и наблюдаемость: Постоянный контроль параметров работы сети и состояния её оборудования.

- Гибкое управление: Возможность корректировать конфигурацию сети вручную, автоматически или дистанционно.

- Автоматизация и управляемость: Способность управлять оборудованием сети, в том числе с использованием автоматических и дистанционных средств.

- Сегментируемость: Возможность выделять участки сети с распределенной генерацией, которые могут питаться от собственных источников, централизованной сети или совместно, в зависимости от ситуации.

- Интеллектуальность оборудования: Оснащение как оборудования сети, так и потребителей интеллектуальными системами мониторинга, контроля, учёта и управления.

- Экономическая интеграция: Поддержка экономических механизмов обеспечения надежности, качества электроэнергии и соблюдения нормативов по срокам технологических присоединений с помощью технических средств.

Электрические сети 0,4 кВ должны обеспечивать выполнение принципов управления их конфигурацией за счёт оснащения средствами мониторинга параметров режимов работы и состояния оборудования, средствами автоматизации и защиты, средствами секционирования и резервирования, средствами распределённой автоматизации, средствами умного учёта. Оборудование сети должно оснащаться соответствующими программными средствами, средствами связи, позволяющими объединять их в единые системы мониторинга, учёта, контроля и управления, системы диспетчеризации сети [4].

Оборудование управления конфигурацией электрических сетей 0,4 кВ позволяет активно изменять схему сети для повышения надежности, качества электроэнергии и эффективности. Оно включает в себя устройства, предназначенные для секционирования, резервирования, мониторинга и управления.

Устройства секционирования линий электропередачи 0,4 кВ: делятся на неавтоматизированные и автоматизированные. Неавтоматизированные устройства (автоматические выключатели, рубильники с предохранителями) обеспечивают защиту от удаленных однофазных коротких замыканий, секционируя линии 0,4 кВ. К автоматизированным секционирующим пунктам (СП) относятся устройства деления сети (УДС), позволяющие автоматизировать процесс секционирования. Данные устройства оснащаются средствами релейной защиты и управления с применением электромеханических реле (рис. 4), или микроконтроллерных блоков управления. Данные устройства могут оснащаться функциями автоматического повторного включения, средствами мониторинга параметров режимов работы сети, средствами технического учёта электроэнергии [5].



Рисунок 4 - Внешний вид внутри шкафа СП на электромеханических реле, установленного в Филиале ПАО «Россети Центр»-«Орёлэнерго» (п. Старцево) [5]

Устройства секционирования и резервирования: обеспечивают автоматическое включение резервного питания. К ним относятся секционирующие пункты с функцией автоматического включения резерва (СПАВР) и мультиконтактные коммутационные системы (МКС), которые позволяют гибко изменять конфигурацию сети. СПАВР представляют из себя устройства секционирования, которые, в отличие от описанных выше автоматизированных устройств секционирования (СП, УДС) могут также осуществлять функцию АВР при установке их в кольцевых линиях. Мультиконтактные коммутационные системы – это коммутационные аппараты, имеющие 2 и более контактных групп, причём управление контактными группами осуществляется независимо. Применение МКС в электрических сетях 0,4 кВ даёт возможность автоматически изменять конфигурацию сети при изменении ситуации в ней, или по заданию оператора. МКС оснащаются устройствами

мониторинга, учёта, контроля и управления, позволяющими обмениваться данными с единым информационным центром сети, что, в свою очередь, даёт возможность реализовывать принципы SMART GRID [5].

Управляемые коммутационные аппараты (УКА) на трансформаторных подстанциях (ТП) – это коммутационные аппараты 0,4 кВ, оснащенные микроконтроллерными блоками управления и управляемые автоматически или дистанционно. В качестве коммутационных аппаратов используются вакуумные контакторы, магнитные пускатели или автоматические выключатели с электроприводом. УКА могут заменять или дополнять автоматические выключатели отходящих линий и ввода низкого напряжения на ТП 10/0,4 кВ, реализуя функции автоматического повторного включения (АПВ) и предотвращая обратную трансформацию при несанкционированной подаче напряжения со стороны 0,4 кВ (например, от частного генератора) [2, 5].

Вводно-учётно-распределительные устройства (ВУРУ) на вводах потребителей. В отличие от обычных вводных устройств (ВУ) и вводно-распределительных устройств (ВРУ), обеспечивают распределение электроэнергии с помощью управляемых коммутационных аппаратов, а также оснащены средствами мониторинга, контроля и учета. Актуальным является применение ВУРУ в системах электроснабжения с распределённой генерацией. Особенно в тех случаях, когда на балансе потребителей могут находиться генераторы, в том числе малой мощности, работающие на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Это связано с особенностями функционирования таких систем электроснабжения, особенностями их обслуживания. При функционировании таких систем электроснабжения напряжение в электрическую сеть может быть подано как со стороны энергосистемы, так и со стороны потребительских генераторов, если у них есть договор на поставку электроэнергии в общую сеть. Особенности эксплуатации систем электроснабжения с распределённой генерацией связаны также с возможностью подачи напряжения в сеть от нескольких источников. Это повышает требования к обеспечению безопасности при обслуживании ЛЭП. Так, при обслуживании ЛЭП необходимо исключить возможность подачи напряжения в неё от всех подключенных источников электроэнергии, в том числе установленных у потребителей. Неисполнение данного требования может привести к несчастным случаям. При обслуживании ЛЭП 0,4 кВ необходимо предотвратить и подачу напряжения в неё со стороны потребителей. Рационально сделать это за счёт возможности дистанционного отключения ВУРУ во время обслуживания [5].

К прочим устройствам, позволяющим управлять конфигурацией сети, относятся *устройства сезонного резервирования.* Они позволяют использовать один и тот же резервный источник для разных потребителей в зависимости от времени года или суток, снижая затраты на создание систем резервирования. Принцип работы основан на задании временных интервалов и алгоритмов подключения групп потребителей к резервному источнику [16].

Оборудование управления конфигурацией решает следующие задачи: отключает поврежденные участки, предотвращает отключение неповрежденных участков, обеспечивает резервное питание, управляет загрузкой источников, сегментирует сеть для питания от распределенной генерации, поддерживает напряжение и качество электроэнергии, обеспечивает электробезопасность и наблюдаемость сети [13, 15].

Выводы

Проведенный анализ состояния сельских электрических сетей 0,4 кВ выявил ряд критических проблем, связанных с устаревшим оборудованием, неоптимальной

конфигурацией и недостаточным уровнем автоматизации. Значительная часть линий электропередачи не соответствует современным требованиям по протяженности и сечению проводов, что приводит к повышенным потерям и снижению качества электроэнергии. В работе определены перспективные направления развития сельских электрических сетей 0,4 кВ, основанные на внедрении интеллектуальных технологий и принципов управления конфигурацией. Предложенные решения, включающие использование мультиконтактных коммутационных систем, автоматизированных систем мониторинга и диспетчеризации, а также управляемых коммутационных аппаратов, позволяют повысить надежность, управляемость и энергоэффективность электроснабжения сельских потребителей. Теоретическое значение исследования заключается в систематизации знаний о проблемах и перспективах.

Список использованных источников

1. Аветисян А.С. Рост эффективности в системе электроснабжения с помощью технологии SMART GRID // Общество, образование, наука в современных парадигмах развития : Сборник трудов по материалам III Национальной научно-практической конференции, 17–18 октября 2022г. Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. С. 9-12. EDN NNQAPW.
2. Безбожнов О.Н., Чадаев Д.И. Интеллектуальные сети энергоснабжения: мониторинг качества электроэнергии // НБИ технологии. 2022. Т. 16, № 2. С. 5-10. DOI 10.15688/NBIT.jvolsu.2022.2.1. EDN UKLZDH.
3. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 4(53). С. 22-29. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29. EDN LHIRSK.
4. Виноградов А.В. Понятие и принципы управления конфигурацией интеллектуальных электрических сетей // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 4(29). С. 5-14. EDN RFGLQV.
5. Виноградов А.В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации: монография. Орел: Общество с ограниченной ответственностью полиграфическая фирма «Картуш», 2022. 392 с. ISBN 978-5-9708-0861-0. – EDN DOFZZD.
6. ГОСТ 32144 – [Электронный ресурс]. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с. Режим доступа: http://energogarant.msk.ru/content/certification/documents/gost-32144-2013.pdf
7. Бастрон А.В., Бастрон Т.Н, Чебодаев А.В. [и др.] К вопросу о повышении эффективности проектных решений при разработке внутренних электрических сетей сельских домовладений // Вестник НГИЭИ. 2022. № 2(129). С. 41-55. DOI 10.24412/2227-9407-2022-2-41-55. – EDN LZIWGY.
8. Виноградов А.В., Виноградова А.В, Лансберг А.А. Концепция сельских электрических сетей 0,4 кВ с управляемой конфигурацией. Коллективная монография. Электрон. текстовые дан. // Развитие электроснабжения и применения электроэнергии в АПК. 2022. с.52-62.
9. Куценко Г.Ф. Пухальская О.Ю., Полозова О.А. К вопросу надежности электроснабжения потребителей АПК в условиях развития рыночных отношений в электроэнергетике // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2006. № 2. С. 28-32. EDN SADNVT.
10. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: учеб. для студентов

средних специальных заведений, обучающихся по специальности 3107 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства". Учебники и учебные пособия для студентов средних специальных учебных заведений Москва: КолосС, 2006. ISBN 5-9532-0205-9. – EDN QKXVEP.

11. Судаченко В.Н., Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф., Размук В.А Оценка качества электроэнергии у сельскохозяйственных потребителей // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 95. С. 33-41. DOI 10.24411/0131-5226-2018-10029. EDN XRQYDZ.

12. Рощин О.А. Обзор систем электроснабжения сельских потребителей // Инновации в сельском хозяйстве. 2012. № 2(2). С. 2-9. EDN QBWGXV.

13. Сейфуллин А.Ю. Виноградов А.В., Виноградова А.В. Задачи и стратегия управления конфигурацией сельской микросети, содержащей возобновляемые источники энергии // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63). – С. 90-97. DOI 10.12737/2073-0462-2021-90-97. EDN AHMPSE.

14. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. Москва: ЭНАС, 2012. 376 с. ISBN 978-5-4248-0049-8. EDN SDQVXN.

15. Виноградов А.В., Сейфуллин АЮ., Букреев А.В. Определение рациональных мест размещения мультиконтактных коммутационных систем // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18, № 3. С. 82-90. DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-82-90. EDN KKBOBV.

16. Виноградов А.В., Большев В.Е, Виноградова А.В. [и др.]. Новые решения для сельских электрических сетей: управление конфигурацией. Сокращение потерь. Обеспечение наблюдаемости: монография: Орёл: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2024. 236 с. EDN HXSZKQ.

17. Виноградова А.В. Лансберг А.А., Виноградов А.В. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации: монография: Орёл: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2023. 360 с. EDN FPQAEF.

Bibliography:

1. Avetisyan A.S. Growth of efficiency in the power supply system with the help of SMART GRID technology // Society, Education, Science in Modern Development Paradigms : Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference, October 17-18, 2022. Kerch: FGBOU VO “Kerch State Marine Technological University”, 2022. C. 9-12. EDN NNQAPW.

2. Bezbozhnov, O.N.; Chadaev, D.I. Intelligent power supply networks: power quality monitoring // NBI technologies. 2022. T. 16, № 2. C. 5-10. DOI 10.15688/NBIT.jvolsu.2022.2.2.1. EDN UKLZDH.

3. Vinogradov, A.V.; Lansberg, A.A.; Vinogradova, A.V. Analysis of the configuration of the 0.4 kV electrical networks of the Orel region // Electrotechnologies and electrical equipment in agroindustrial complex. 2023. T. 70, № 4(53). C. 22-29. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29. EDN LHIRSK.

4. Vinogradov A.V. The concept and principles of configuration management of intelligent electrical networks // Agrotechnics and energy supply. 2020. № 4(29). C. 5-14. EDN RFGLQV.

5. Vinogradov A.V. Principles of rural electric networks configuration management and technical means of their realization: monograph. Orel: Limited liability company printing firm “Kartush”, 2022. 392 c. ISBN 978-5-9708-0861-0. - EDN DOFZZD.

6. GOST 32144 - [Electronic resource]. - Moscow: Standartinform, 2014. - 20 c. Access mode: http://energogarant.msk.ru/content/certification/documents/gost-32144-2013.pdf

7. Bastron A.V., Bastron T.N., Chebodaev A.V.. [et al.] To the issue of increasing the efficiency of design solutions in the development of internal electrical networks of rural households // Vestnik of the National Institute of Electrical Engineering and Power Engineering. 2022. № 2(129). C. 41-55. DOI 10.24412/2227-9407-2022-2-41-55. - EDN LZIWGY.

8. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Lansberg A.A. Concept of rural 0.4 kV power grids with controlled configuration. Collective monograph. Electronic text data. // Development of electric power supply and application of electric power IN APK. 2022. c.52-62.

9. Kutsenko G.F., Pukhalskaya O.Yu., Polozova O.A.. To the question of the reliability of the power supply of the AIC consumers in the conditions of the market relations development in the electric power industry // Energetika. Izvestiya vysshee obrazovaniya vysshee obrazovaniya i energeticheskikh unions CIS. 2006. № 2. C. 28-32. EDN SADNVT.

10. Leshchinskaya T.B. Elektrosnabzhenie sel'skogo srednego: ucheb. for students of specialized secondary educational institutions, studying on specialty 3107 “Electrification and automation of agriculture”. Textbooks and manuals for students of specialized secondary educational institutions Moscow: KolosS, 2006. ISBN 5-9532-0205-9. - EDN QKXVEP.

11. Sudachenko V.N., Timofeev E.V., Erk A.F., Razmuk V.A Assessment of the quality of electricity at agricultural consumers // Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock production. 2018. № 95. C. 33-41. DOI 10.24411/0131-5226-2018-10029. EDN XRQYDZ.

12. Roshchin O.A. Review of power supply systems for rural consumers // Innovations in agriculture. 2012. № 2(2). C. 2-9. EDN QBWGXV.

13. Seifullin A.Yu. Vinogradov, A.V.; Vinogradova, A.V. Tasks and strategy of configuration management of the rural microgrid containing renewable energy sources // Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2021. T. 16, № 3(63). - C. 90-97. DOI 10.12737/2073-0462-2021-90-97. EDN AHMPSE.

14. Faibisovich D.L. Reference book on designing of electric networks. Moscow: ENAS, 2012. 376 c. ISBN 978-5-4248-0049-8. EDN SDQVXN.

15. Vinogradov A.V., Seifullin AY, Bukreev A.V. Determination of rational locations of multi-contact switching systems // Agricultural machines and technologies. 2024. T. 18, № 3. C. 82-90. DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-82-90. EDN KKBOBV.

16. Vinogradov A.V., Bolshev V.E., Vinogradova A.V. [et al]. New solutions for rural power grids: configuration management. Reduction of losses. Ensuring observability: monograph: Oryol: OOO Polygraphic firm “Kartush”, 2024. 236 c. EDN HXSZKQ.

17. Vinogradova A.V. Lansberg A.A., Vinogradov A.V. Energosistema of the Oryol region: review of the statistical information: monograph: Oryol: OOO Polygraphic firm “Kartush”, 2023. 360 c. EDN FPQAEF.

Д.С. Королёв, студент, бакалавр 4 курса направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

kdima0106@mail.ru

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина; 302019, Российская Федерация, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69.

REVIEW OF THE STATE AND PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF RURAL ELECTRIC NETWORKS OF 0.4 KV

D.S. Korolev

Oryol State Agrarian named after N.V. Parakhin. N.V. Parakhin

Annotation.The purpose of the study is to analyze the current state of rural 0.4 kV power grids, identify existing problems and determine promising areas of development to improve the reliability and energy efficiency of electricity supply to rural consumers. The method of review and analysis of existing problems of rural power supply systems was used. The state of 0.4 kV power networks in the Orel region was analyzed. It is revealed that only 50% of rural 0,4 kV lines comply with the PUE norms in terms of permissible length, and 43% of lines are made with bare aluminum wires with a cross-section of 25 mm2. The low level of automation and digitalization of rural power grids, as well as the prevalence of dead-end radial power supply schemes were noted. The principles and technical solutions for configuration control of 0,4 kV power networks, including the use of multi-contact switching systems, monitoring and dispatching systems, as well as controlled switching devices are considered. It is concluded that it is necessary to modernize rural power grids with the use of intelligent technologies to improve their reliability, controllability and energy efficiency.

Keywords: rural power grids, 0.4 kV power grids, power grid configuration, state review, development prospects, electric power industry, power supply to rural consumers, energy efficiency, Smart Grid, digitalization of power grids, microgrids, smart metering, monitoring and diagnostic systems, load management, automation and dispatching.

D.S. Korolev, student, 4th year bachelor of training direction 13.03.02 "Electric power engineering and electrical engineering"

kdima0106@mail.ru

Oryol State Agrarian named after N.V. Parakhin. N.V. Parakhin; 302019, Russian Federation, Oryol, 69, Generala Rodina str.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДИК В ПРОЦЕССЕ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

К.А. Шатохин

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина

Аннотация. *В статье рассмотрены современные статистические методики, применяемые для анализа надежности и качества электроснабжения. Особое внимание уделено необходимости постоянного исследования и совершенствования методов прогнозирования, проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации электроэнергетических объектов. Предложены различные подходы к оценке показателей надежности, включая аналитические и комбинированные методы, а также применение контрольных карт для мониторинга качества работы систем. Проведен сравнительный анализ методов оценки надежности, выявлены ключевые факторы, влияющие на качество организации системы охраны труда на предприятиях электроэнергетики. На основании проведенного анализа предложены рекомендации по повышению эффективности системы управления охраной труда и минимизации рисков нарушения техники безопасности.*

Ключевые слова: *показатели надежности, карты Парето, раннее предупреждение, сравнительный анализ.*

Введение

Производство электроэнергии на современном этапе научно-технического прогресса представляет собой сложный процесс, который требует взвешенного подхода, особенно с точки зрения обеспечения безопасности сотрудников, работающих с мощными энергетическими установками. Поэтому важно провести оценку эффективности организации контроля знаний по безопасным методам работы в подразделениях электростанций. Эти функции традиционно возлагаются на службы охраны труда, относящиеся к непроизводственным системам. Современные достижения в области теории и практики менеджмента, а также методология системного анализа предоставляют возможность принимать решения по управлению качеством экономических, социальных и иных непроизводственных систем на основе моделей и методов, применяемых в управлении производственными системами [1-5].

Одним из ключевых инструментов статистического контроля качества промышленной продукции являются контрольные карты [6,7]. Они позволяют оценивать абсолютный и относительный уровни несоответствий (например, количество бракованной продукции), выявлять причины их появления (включая влияние оборудования, исходных материалов и человеческого фактора), а также принимать соответствующие меры и контролировать эффективность принимаемых решений для улучшения производственных процессов и повышения качества продукции. Сегодня эти методы широко изучены [8] и интегрированы в профессиональные статистические пакеты [9]. Это включает в себя такие инструменты, как X-карты, S-карты, C-карты, U-карты, T2-карты, а также карты Парето и другие [5-10].

Общие закономерности функционирования различных систем, универсальные

характеристики структур и информации о качестве работы предприятий, их отдельных цехов и участков, а также принципы обработки этой информации для принятия управленческих решений позволяют предложить использование контрольных карт для анализа и регулирования качества вспомогательных систем и подразделений производства. Одним из примеров такой системы является система управления охраной труда (СУОТ), обеспечивающая надежность производственного процесса.

Для определения факторов, влияющих на качество СУОТ, в работах [1,2] предлагается построить и проанализировать карты Парето. Чтобы получить количественную оценку эффективности работы системы, рассматриваются статистические зависимости между числом нарушений и количеством проверок знаний правил техники безопасности от соответствующих средних значений выборки.

Материалы и методы

В работе [1] поставлена цель методами оценки статистической информации качества работы СУОТ в подразделениях электростанций с использованием контрольных карт. В качестве объекта исследования рассмотрен процесс организации контроля знаний персонала эксплуатационного подразделения (ЭП) по технике безопасности (ТБ): ПТБ, ПРБ, ППБ, ПТЭ, ПУБЭ, ПНБАЭ.

Данные из [2] применялись на диаграммах Парето двух типов:

1. По результатам деятельности. Они служат для выявления главной проблемы и отражают нежелательные результаты деятельности (дефекты, отказы и т. д.);

2. По причинам (факторам). Они отражают причины проблем, которые возникают в ходе производства (в данном случае рассматриваются причины отказов).

Зачастую длительность простоев из [2] мало зависит от видов отказов, которыми они обусловлены, а определяется в основном организацией системы технического обслуживания и ремонта. Поэтому для поиска путей сокращения общего времени простоя целесообразно построение диаграммы Парето, отражающей вклад отдельных составляющих времени простоя на его общую продолжительность.

Результаты и обсуждение

Оценка тенденций временных изменений показателя качества работы системы (числа нарушений ТБ в ЭП АЭС) с использованием С карты (рис.1), анализ результатов sigma теста (табл. 1) позволяют сделать следующие выводы.

В ходе анализа данных изменений показателей нарушений правил ТБ Р.М. Трищ и М. Б. Смирнитская установили следующее: в изменениях показателя нарушений правил ТБ

ЭП отсутствуют явно выраженные закономерности (тренды).

2. Наличие попаданий 2 из 3-х расположенных подряд точек в зону, наличие попаданий 4 из 5-ти расположенных подряд точек в зону В и выход значений за пределы зоны В могут рассматриваться как индикатор ”раннего предупреждения” о начинающемся разладе качества организации системы [1].

$$m_t - m \leq 0 \;\&\; n_{i,t} - n_i \geq 0, \qquad (1)$$

где m, n_i - средние по выборке числа нарушений и проверок знаний направлений ТБ.

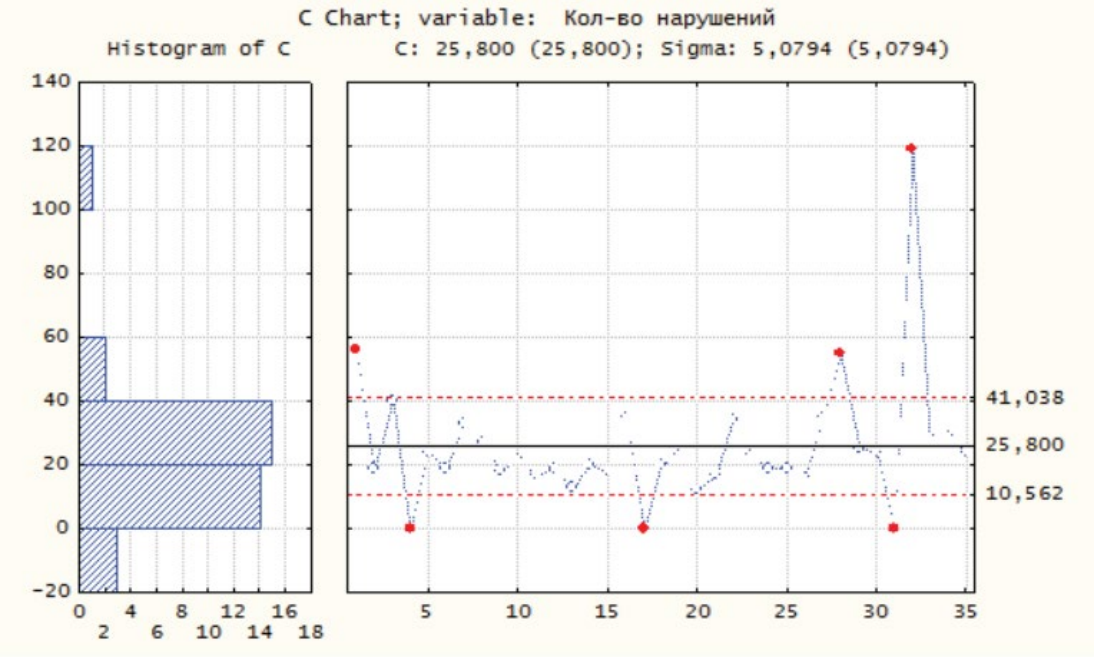


Рисунок 1 - Карта временных изменений показателя числа нарушений ТБ

Из приведенных данных следует, что среди основных причин снижения качества организации СУОТ ЭП можно назвать недостатки в планировании и организации проверок знаний по таким направлениям ТБ как ПУБЭ, ПТЭ, ПНБАЭ и ППБ:

Таблица 1 - Результаты сигма теста С карты показателя числа нарушений ТБ

Зоны A/B/C: 3,000/2,000/1,000 * Sigma Кол-во нарушений; C Карта центральная линия: 25,800000 Сигма: 5,079370	От	До
9 значений на одной стороне от центра	ОК	ОК
6 значений в ряду возрастающих/убывающих	ОК	ОК
14 альтернативных значений выше/ниже	ОК	ОК
2 из 3 значений в зоне A или за ее пределами	1	3
4 из 5 значений в зоне B или за ее пределами	9	13
	14	18
15 значений в зоне C	ОК	ОК
8 значений за пределами зоны C	11	18

Проанализировано, как изменится значимость факторов, влияющих на эффективность СУОТ в эксплуатационном подразделении, после введения расширенного набора оценочных показателей. В частности, будет исследовано соотношение между количеством зафиксированных нарушений техники безопасности и общим числом проведённых проверок знаний по различным направлениям ТБ [1].

На рисунке 2 представлена модифицированная карта Парето, где учитывается новый критерий оценки - качество организации проверочных мероприятий по направлениям техники безопасности в эксплуатационном подразделении. Количественные параметры

данной карты систематизированы в таблице 2.

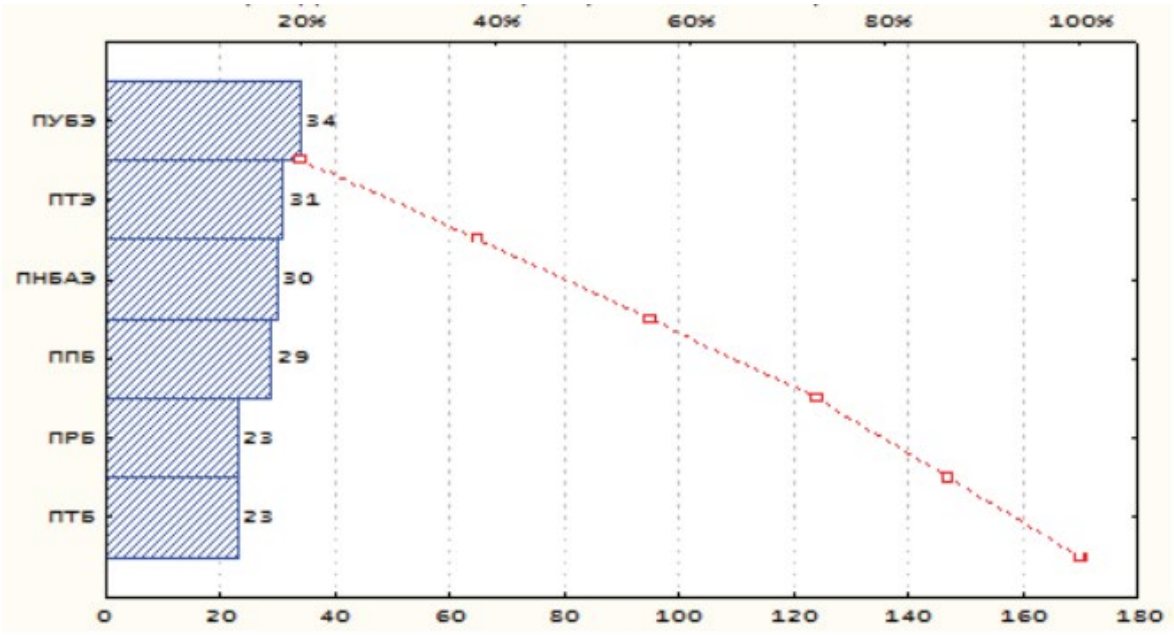


Рисунок 2 - Карта Парето: фактор эффективности проверок знаний направлений ТБ

Из приведенных данных следует, что среди основных причин снижения качества организации СУОТ ЭП можно назвать недостатки в планировании и организации проверок знаний по таким направлений ТБ как ПУБЭ, ПТЭ, ПНБАЭ и ППБ [1].

Таблица 2 - Итоги карты Парето: фактор эффективности проверок знаний направлений ТБ

Категория	Значение	Совокупное значение	Процент	Совокупный процент
ПУБЭ	34,00	34,00	20,00000	20,0000
ПТЭ	31,00	65,00	18,23529	38,2353
ПНБАЭ	30,00	95,00	17,64706	55,8824
ППБ	29,00	124,00	17,05882	72,9412
ПРБ	23,00	147,00	13,52941	86,4706
ПТБ	23,00	170,00	13,52941	100,0000

Анализ полученных данных демонстрирует существенный сдвиг в расстановке приоритетов при оценке эффективности СУОТ. Внедрение метрики, учитывающей корреляцию между количеством нарушений ТБ и объёмом проверочных мероприятий, позволяет выявить более точную картину распределения проблемных зон.

При оптимизации краткосрочного планирования ТБ-мероприятий в ЭП АЭС предлагается следующая последовательность проверок: ПУБЭ → ППБ → ПТЭ → ПНБАЭ. Это отличается от традиционного подхода (ПУБЭ → ПТЭ → ПНБАЭ → ППБ) и обусловлено экономической целесообразностью: потенциальный ущерб от ТБ-нарушений на АЭС многократно превышает затраты на превентивные меры контроля [2].

На основании проведённого статистического анализа можно сформулировать

ключевые рекомендации по структурированию факторных признаков СУОТ:

1. Приоритетное внимание следует уделять направлениям с наибольшим соотношением нарушений к количеству проверок.

2. Необходимо учитывать специфику каждого ТБ-направления при планировании контрольных мероприятий.

3. Следует внедрять дифференцированный подход к частоте проверок в зависимости от выявленной динамики нарушений.

4. Важно обеспечить баланс между количеством проверок и их результативностью.

Такой подход к организации СУОТ позволит повысить эффективность превентивного контроля, минимизировать риски ТБ-нарушений на объекте и, соответственно, повысить надежность электроснабжения.

Выводы

На основе опытных данных [1,2] рассмотрены современные статистические методики, применяемые для анализа надежности и качества электроснабжения. Особое внимание уделено необходимости постоянного исследования и совершенствования методов прогнозирования, проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации электроустановок. На основе данных, полученных при анализе диаграмм Парето предложены различные подходы к оценке показателей надежности, включая аналитические и комбинированные методы, а также применение контрольных карт для мониторинга качества работы систем.

Проведен сравнительный анализ методов оценки надежности, выявлены ключевые факторы, влияющие на качество организации системы охраны труда на предприятиях электроэнергетики. На основании проведенного анализа предложены рекомендации по повышению эффективности системы управления охраной труда и минимизации рисков нарушения техники безопасности.

Список использованных источников

1. Трищ Р.М., Смирнитская М.Б., Колотова Е.Е. Использование показателей качества для оценки организации охраны труда в электроэнергетике // ВЕЖПТ. 2013. №8 (62). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-pokazateley-kachestva-dlya-otsenki-organizatsii-ohrany-truda-v-elektroenergetike (дата обращения: 27.02.2025).

2. Белопушкин В.И., Почуева Ю.С. Применение метода Парето для анализа надежности производственного оборудования ОАО «Пятигорсксельмаш» // ГИАБ. 2016. №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-pareto-dlya-analiza-nadezhnosti-proizvodstvennogo-oborudovaniya-oao-pyatigorskselmash (дата обращения: 27.02.2025).

3. Белопушкин В.И., Почуева Ю.С. «Применение метода Парето для анализа надежности производственного оборудования ОАО «Пятигорсксельмаш». Горный информационно-аналитический бюллетень, 2016, №9.URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniemetoda-pareto-dlya-analiza-nadezhnosti-proizvodstvennogo-oborudovaniya-oao-pyatigorskselmash (дата обращения: 28.02.2025).

4. Чиркова О. Б. «Сравнительный анализ методов расчета показателей надежности систем электроснабжения». Завалишинские чтения XXI: Международная конференция по электромеханике и робототехнике, Санкт-Петербург, 2021.URL: https://spbu.academia.edu/abstracts/ZavalishinskyReadingsXXI (дата обращения: 02.03.2025).

5. Севертцев Н.А. «Теория надежности сложных систем в развитии и эксплуатации». Учебник для вузов, 2-е изд., Москва: Юрайт, 2024.URL:

https://urait.ru/bcode/539930 (дата обращения: 01.03.2025).

6. Чернышова О.Б. «Оптимизация конфигурации распределительных электрических сетей на основе теории Марковских процессов». Известия НИИ энергетики, 2022, №6 (133).URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-konfiguratsii-raspredelitelnyh-elektricheskih-setey-na-osnove-teorii-markovskih-protsessov (дата обращения: 02.03.2025).

7. Лешинская Т.Б. «Электроснабжение сельского хозяйства». Учебник под ред. И. В. Наумова, Москва: Колос-с, 2020.URL: https://rucont.ru/efd/325213 (дата обращения: 03.03.2025).

8. Мозгалеев А.В. «Методы и модели риск-менеджмента в электроэнергетических системах», Москва: Издательство МЭИ, 2006.URL: http://www.mpei.ru/library/methods/ (дата обращения: 02.03.2025).

9. Горбачев В.В., Федоров В.К., Грункин В.К., Осипов Д.С. «Основы теории надежности систем электроснабжения». Учебник, Омск: Издательство Омского государственного технического университета, 2003.URL: http://lib.omgtu.ru/files/gost/27002-2015.pdf (дата обращения: 01.03.2025).

10. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технологии. Термины и определения, Москва: Стандартинформ, 2016.URL: http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&catalog=11&id=203644 (дата обращения: 04.03.2025).

Bibliography:

1. Trisch R.M., Smirnitskaya M.B., Kolotova E.E. Using quality indicators to assess the organization of occupational safety in the electric power industry // VEZhPT. 2013. №8 (62). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-pokazateley-kachestva-dlya-otsenki-organizatsii-ohrany-truda-v-elektroenergetike (date of reference: 27.02.2025).

2. Belopushkin, V.I.; Pochueva, Yu.S. Application of the Pareto method to analyze the reliability of the production equipment of JSC “Pyatigorskselmash” // GIAB. 2016. №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-pareto-dlya-analiza-nadezhnosti-proizvodstvennogo-oborudovaniya-oao-pyatigorskselmash (date of reference: 27.02.2025).

3. Belopushkin V.I., Pochueva Y.S. “Application of the Pareto method to analyze the reliability of production equipment of JSC ‘Pyatigorskselmash’. Mining information-analytical bulletin, 2016, No.9.URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniemetoda-pareto-dlya-analiza-nadezhnosti-proizvodstvennogo-oborudovaniya-oao-pyatigorskselmash (date of reference: 28.02.2025).

4. Chirkova O. B. “Comparative analysis of methods of calculation of reliability indicators of power supply systems”. Zavalishinskie readings XXI: International conference on electromechanics and robotics, St. Petersburg, 2021.URL: https://spbu.academia.edu/abstracts/ZavalishinskyReadingsXXI (date of reference: 02.03.2025).

5. Severtsev N.A. “Theory of reliability of complex systems in development and operation”. Textbook for universities, 2nd ed., Moscow: Yurait, 2024.URL: https://urait.ru/bcode/539930 (date of reference: 01.03.2025).

6. Chernyshova O.B.. “Optimization of configuration of distribution electric networks on the basis of the theory of Markov processes”. Izvestiya NII Energetiki, 2022, No. 6 (133).URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-konfiguratsii-raspredelitelnyh-elektricheskih-setey-na-osnove-teorii-markovskih-protsessov (date of reference: 02.03.2025).

7. Leshinskaya T.B. “Electric power supply of agriculture”. Textbook ed. by I. V. Naumov, Moscow: Kolos-s, 2020.URL: https://rucont.ru/efd/325213 (date of reference:

03.03.2025).

8. Mozgaleev A.V. “Methods and models of risk management in electric power systems”, Moscow: MPEI Publishing House, 2006.URL: http://www.mpei.ru/library/methods/ (date of reference: 02.03.2025).

9. Gorbachev V.V., Fedorov V.K., Grunkin V.K., Osipov D.S. “Fundamentals of reliability theory of power supply systems”. Textbook, Omsk: Omsk State Technical University Publishing House, 2003.URL: http://lib.omgtu.ru/files/gost/27002-2015.pdf (date of reference: 01.03.2025).

10. GOST 27.002-2015. Reliability in technology. Terms and definitions, Moscow: Standardinform, 2016.URL: http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&catalog=11&id=203644 (date of reference: 04.03.2025).

К.А. Шатохин, студент ФГБОУ ВО Орловский ГАУ,
тел. 89803648494, e-mail.ru: k.a.shatokhin@mail.ru

USE OF MODERN STATISTICAL TECHNIQUES IN THE PROCESS OF ANALYZING THE RELIABILITY AND QUALITY OF POWER SUPPLY

K.A. Shatokhin

N.V. Parakhin FGBOU VO Oryol GAU,

Annotation. The article considers modern statistical techniques used to analyze the reliability and quality of power supply. Special attention is paid to the necessity of constant research and improvement of methods of forecasting, design, construction, installation and operation of electric power facilities. Various approaches to the assessment of reliability indicators are proposed, including analytical and combined methods, as well as the use of control charts for monitoring the quality of systems operation. The comparative analysis of reliability assessment methods is carried out, the key factors influencing the quality of the organization of the occupational safety system at the electric power industry enterprises are revealed. On the basis of the analysis the recommendations for improving the efficiency of the occupational safety management system and minimizing the risks of safety violations are offered.

Key words: reliability indicators, Pareto maps, early warning, comparative analysis.

K.A. Shatokhin, student of FGBOU VO Oryol GAU,
tel. 89803648494, e-mail.ru: k.a.shatokhin@mail.ru

УДК 621.3

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОТОТИПА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Виноградов А.В.[1,2], Букреев А.В.[1], Сорокин Н.С.[2]

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

Аннотация. *Цифровизация, автоматизация сельских электрических сетей не реализуема без разработки соответствующих решений для трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ. Средства автоматизации должны обеспечивать наблюдаемость и управляемость трансформаторных подстанций данного класса напряжения, создания цифровых трансформаторных подстанций. В том числе должны быть обеспечены возможности дистанционного определения положения коммутационных аппаратов, причин их отключения, возможности управления некоторыми коммутационными аппаратами. Также следует обеспечивать выполнение функций контроля несанкционированной подачи напряжения и предотвращения обратной трансформации, контроля параметров режимов работы электрической сети в разных точках трансформаторной подстанции и ряд других функций. Реализация решений по цифровизации и автоматизации трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ требует создания их прототипа для проведения необходимых экспериментальных исследований, отработки алгоритмов автоматизации. В статье приведена разработанная схема прототипа цифровой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.*

Ключевые слова: *трансформаторная подстанция, цифровая трансформаторная подстанция, сельские электрические сети, электроснабжение, схема.*

Введение. Количество трансформаторных подстанций (ТП) напряжением 6-20 кВ составляет по ПАО Россети более 475 тысяч штук [1]. Только в филиале ПАО «Россети Центр»-«Орёлэнерго» эксплуатируется более 5800 ТП 10/0,4 кВ [2]. Как правило это ТП с низкой степенью автоматизации. Они не оснащены управляемыми коммутационными аппаратами, редко оснащаются средствами мониторинга параметров режимов работы, таких как напряжение, ток в разных точках схемы ТП. В то же время развивается цифровизация подстанций (ПС) более высокого класса напряжения, так называемых цифровых [3, 4].

К перспективным функциям цифровой трансформаторной подстанции (ЦТП) 6-20/0,4 кВ 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; 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 [5].

Имеются на рынке предложения и по цифровизации трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ. Это спектр устройств сбора и передачи данных, информационно-вычислительных комплексов, «умных» счетчиков электроэнергии, устройств телемеханики, устройств синхронизации времени [5, 6].

Решения «ЭНТЕЛС» для автоматизации трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, предназначенные для автоматизации учета, диспетчеризации, энергомониторинга и контроля доступа на трансформаторные пункты внедряются в рамках проектов по цифровизации распределительных сетей [5, 7].

Широкий выбор оборудования автоматизации предлагают и компании НПО «МИР» [8], «ОВЕН» [9] и другие. Однако данное оборудование не обеспечивает многих перечисленных перспективных функций ЦТП 6-10/0,4 кВ и не объединяется в единую систему автоматизации ТП 10/0,4 кВ [5].

Предложены варианты структурных схем ЦТП 6-10/0,4 кВ, обеспечивающие выполнение всех указанных функций, например [10]. В то же время выполнение таких требований, как адаптивное автоматическое регулирование напряжения в сети 0,4 кВ и автоматическое адаптивное регулирование реактивной мощности в сети требует значительных капитальных вложений, так как регулирование напряжения требует установки трансформатора с устройством регулирования под нагрузкой (РПН), а управление реактивной мощности – установки конденсаторных батарей. Этот функционал перспективен при создании новых ЦТП. Кроме того, использование компенсирующих устройств на ТП вполне отработано, имеются существующие устройсва для его осуществления. Модернизация же существующих ТП 10/0,4 кВ позволит без вложения средств в регулирование напряжения и реактивной мощности обеспечить выполнение других указанных выше функций с гораздо меньшими затратами. Разрабатываемый прототип ЦТП 10/0,4 кВ не предполагает выполнения решений по регулированию напряжения и реактивной мощности. К отрабатываемым функциям прототипа отнесены: дистанционное и автоматическое управление коммутационными аппаратами; дистанционный контроль режимов работы оборудования ТП; контроль показателей качества электроэнергии на высокой и низкой стороне ТП, в отходящих ЛЭП; определение мест повреждений в отходящих ЛЭП; контроль надёжности электроснабжения потребителей, питаемых от отходящих линий; контроль загрузки силовых трансформаторов; сигнализация и предотвращение несанкционированной подачи напряжения, в том числе посредством обратной трансформации; осуществление алгоритмов АПВ отходящих ЛЭП с учётом возможности запрета их работы на аварийный участок.

Материалы и методы. В статье предложена структурная схема прототипа цифровой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

Результаты и обсуждение.

Структурная схема прототипа ЦТП (ПЦТП) показана на рисунке 1. Схема (рисунок 1) содержит: имитацию ввода 10 кВ (ИВ1); управляемый коммутационный аппарат, имитирующий управляемый разъединитель 10 кВ (УКА2); предохранители (ПР3); ограничитель перенапряжения ОПН4; силовой трансформатор Т5; коммутационные

аппараты на стороне 0,4 кВ (КА6-КА8); управляемые коммутационные аппараты на стороне 0,4 кВ (УКА9-УКА11); микроконтроллерный блок управления прототипом цифровой трансформаторной подстанции (МБУПЦТП12); устройство сбора и передачи данных (УСППД13); блок бесперебойного питания (ББП14); датчики напряжения (ДН15-ДН20); датчики тока (ДТ21-ДТ23); датчики положения коммутационных аппаратов (ДП24-ДП30); модели нагрузок (МН31, МН32); «умный» прибор учёта (УПУ33).

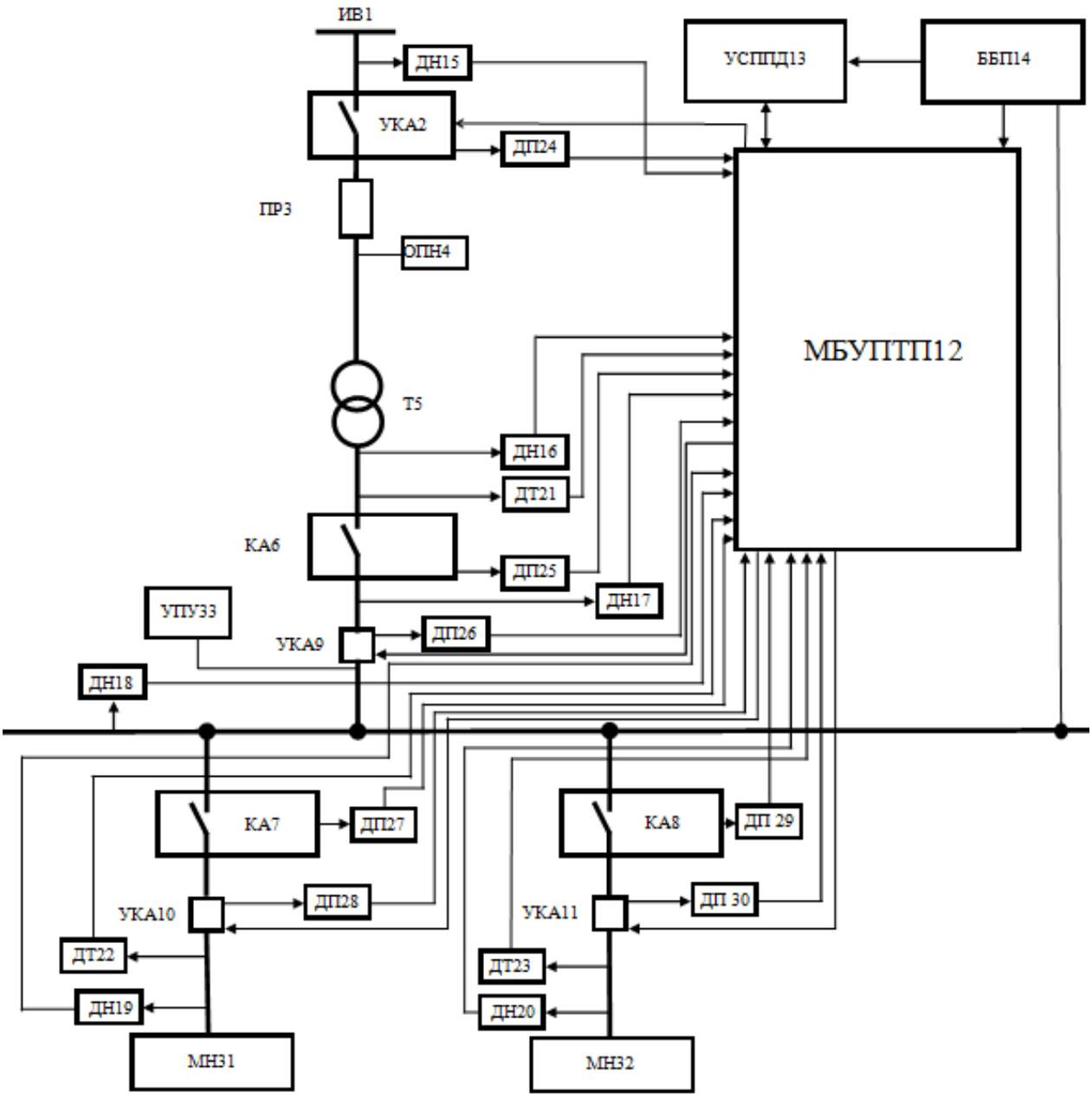


Рисунок 1 - Структурная схема ПЦТП 10/0,4 кВ

Прототип может выполняться на напряжение 10/0,4 кВ, или, для повышения безопасности исследований, на напряжение 0,4/0,4 кВ. Во втором случае следует применять трансформатор 0,4/0,4 кВ с соответствующими применяемым силовым трансформаторам 10/0,4 кВ схемами соединения обмоток. Также в этом случае и другое оборудование на стороне, условно, 10 кВ имитирует работу реального оборудования 10 кВ, такого как управляемый разъединитель 10 кВ, предохранители, ОПН. На стороне 0,4 кВ в обоих

вариантах ПЦТП используется оборудование, рассчитанное на применение в условиях реальных ТП 10/0,4 кВ. Модели нагрузок МН31 и МН32 позволяют моделировать различные сочетания нагрузок по их характеру (активная, активно-индуктивная и т.п.), графику работы, балансу по фазам и т.д.

Датчики напряжения и тока выполняют измерения в точках их установки и передают результаты в МБУПЦТП12. Также в МБУПЦТП12 поступают данные от датчиков положения. Прототипом датчиков могут быть устройства КМНОН v2.2, позволяющие измерять токи, напряжение и положение коммутационных аппаратов. Такие устройства разработаны в рамках выполнения научных работ по резонансной передаче электроэнергии для контроля коммутационных аппаратов 0,4 кВ [11].

В МБУПЦТП12 закладываются алгоритмы, которые, на основе полученных данных, позволяют анализировать все режимы работы ТП и установленного на ней оборудования, определять положение коммутационных аппаратов и их причины отключений, идентифицировать аварийные ситуации. МБУПЦТП12 выдаёт команды на отключение, включение соответствующих УКА, передаёт информацию в систему диспетчеризации сети с помощью УСППД13 и принимает команды диспетчера. С учётом достаточно высоких рисков подачи несанкционированного напряжения [12] и сцелью повышения электробезопасности в МБУПЦТП12 должны вноситься и алгоритмы осуществления сигнализации и блокировки подачи несанкционированного напряжения в электрическую сеть. Это позволяет решать все перечисленные выше перспективные функции ЦТП. При этом не требуется широкой номенклатуры оборудования автоматизации. В МБУПЦТП12 могут быть заложены и алгоритмы реализации адаптивного автоматического регулирования напряжения, и регулирования реактивной мощности в случае возможности выполнения данных функций оборудованием ПЦТП.

В качестве прототипа МБУПЦТП12 может применяться микроконтроллерный блок управления, применяемый на мультиконтактных коммутационных системах, разработанный в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [13]. Блок бесперебойного питания ББП14 обеспечивает бесперебойное питание МБУПЦТП12 и УСППД13.

Изготовление ПЦТП позволит выполнить предварительные лабораторные испытания, необходимые для реализации ЦТП, отработать алгоритмы мониторинга, контроля и управления ЦТП.

Выводы:

Реализация решений по цифровизации и автоматизации трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ требует создания их прототипа для проведения необходимых экспериментальных исследований, отработки алгоритмов автоматизации.

К отрабатываемым функциям прототипа отнесены: дистанционное и автоматическое управление коммутационными аппаратами; дистанционный контроль режимов работы оборудования ТП; контроль показателей качества электроэнергии на высокой и низкой стороне ТП, в отходящих ЛЭП; определение мест повреждений в отходящих ЛЭП; контроль надёжности электроснабжения потребителей, питаемых от отходящих линий; контроль загрузки силовых трансформаторов; сигнализация и предотвращение несанкционированной подачи напряжения, в том числе посредством обратной трансформации; осуществление алгоритмов АПВ отходящих ЛЭП с учётом возможности запрета их работы на аварийный участок.

Изготовление ПЦТП позволит выполнить предварительные лабораторные испытания,

необходимые для реализации ЦТП, отработать алгоритмы мониторинга, контроля и управления ЦТП.

Список литературы

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. Виноградова, А. В. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации / А. В. Виноградова, А. А. Лансберг, А. В. Виноградов. – Орёл: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2023. – 360 с. – EDN FPQAEF.
3. 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.
4. Цифровые подстанции. Российские и зарубежные: НТД, опыт, примеры – URL: http:// https://elensis.ru/2019/04/20/цифровые-подстанции/ (дата обращения 17.03.25).
5. Виноградов А.В., Сорокин Н.С. Обзор оборудования автоматизации трансформаторных подстанций 6-20/0,4 кВ и структурная схема цифровой трансформаторной подстанции // Агротехника и энергообеспечение. 2023. №3(40). С.48-56.
6. Официальный сайт АО ГК «Системы и технологии»: [Сайт]. – URL: http://www.sicon.ru/about/group/ (дата обращения 17.03.25)
7. Официальный сайт ООО «Энтелс»: [Сайт]. – URL: http://www.entels.ru/ (дата обращения 17.03.25)
8. Официальный сайт НПО «МИР»: [Сайт]. – URL: http://mir-omsk.ru/ (дата обращения 17.03.25)
9. Официальный сайт «ОВЕН»: [Сайт]. – URL: https://owen.ru/ (дата обращения 17.03.25)
10. Патент № 2740075 C1 Российская Федерация, МПК H02B 7/00, H02J 13/00, G01R 19/145. Цифровая трансформаторная подстанция: № 2020124080: заявл. 20.07.2020: опубл. 11.01.2021 / А. В. Виноградов, Н. С. Сорокин, А. В. Виноградова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). – EDN FGRPFK.
11. Внедрение резонансной системы передачи электрической энергии в филиале ПАО «Россети Центр и Приволжье» - «Рязаньэнерго» / В. О. Акуличев, В. В. Микрюков, А. А. Пацев [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 6(81). – С. 100-105. – EDN FYXIGL
12. Виноградов, А. В. Оценка вероятности несанкционированной подачи напряжения в сельских электрических сетях 0,4-10 кВ / А. В. Виноградов, А. А. Панфилов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2(55). – С. 29-36. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-2-29-36. – EDN TPLJYA.
13. Виноградов, А. В. Определение рациональных мест размещения мультиконтактных коммутационных систем / А. В. Виноградов, А. Ю. Сейфуллин, А. В. Букреев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 3. – С. 82-90. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-82-90. – EDN KKBOBV.

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. Vinogradova, A. V. Energosistema Orlovskoy oblasti: obzor statisticheskoy informatsii / A. V. Vinogradova, A. A. Lansberg, A. V. Vinogradov. – Orol: OOO Poligraficheskaya firma «Kartush», 2023. – 360 s. – EDN FPQAEF.

3. 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.

4. Tsifrovyye podstantsii. Rossiyskiye i zarubezhnyye: NTD, opyt, primery – URL: http:// https://elensis.ru/2019/04/20/tsifrovyye-podstantsii/ (data obrashcheniya 17.03.25).

5. Vinogradov A.V., Sorokin N.S. Obzor oborudovaniya avtomatizatsii transformatornykh podstantsiy 6-20/0,4 kV i strukturnaya skhema tsifrovoy transformatornoy podstantsii // Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2023. №3(40). S.48-56.

6. Ofitsial'nyy sayt AO GK «Sistemy i tekhnologii»: [Sayt]. – URL: http://www.sicon.ru/about/group/ (data obrashcheniya 17.03.25)

7. Ofitsial'nyy sayt OOO «Entels»: [Sayt]. – URL: http://www.entels.ru/ (data obrashcheniya 17.03.25)

8. Ofitsial'nyy sayt NPO «MIR»: [Sayt]. – URL: http://mir-omsk.ru/ (data obrashcheniya 17.03.25)

9. Ofitsial'nyy sayt «OVEN»: [Sayt]. – URL: https://owen.ru/ (data obrashcheniya 17.03.25)

10. Patent № 2740075 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK H02B 7/00, H02J 13/00, G01R 19/145. Tsifrovaya transformatornaya podstantsiya: № 2020124080: zayavl. 20.07.2020: opubl. 11.01.2021 / A. V. Vinogradov, N. S. Sorokin, A. V. Vinogradova [i dr.]; zayavitel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye nauchnoye uchrezhdeniye "Federal'nyy nauchnyy agroinzhenernyy tsentr VIM" (FGBNU FNATS VIM). – EDN FGRPFK.

11. Vnedreniye rezonansnoy sistemy peredachi elektricheskoy energii v filiale PAO «Rosseti Tsentr i Privolzh'ye» - «Ryazan'energo» / V. O. Akulichev, V. V. Mikryukov, A. A. Patsev [i dr.] // Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye. – 2023. – № 6(81). – S. 100-105. – EDN FYXIGL

12. Vinogradov, A. V. Otsenka veroyatnosti nesanktsionirovannoy podachi napryazheniya v sel'skikh elektricheskikh setyakh 0,4-10 kV / A. V. Vinogradov, A. A. Panfilov // Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK. – 2024. – T. 71, № 2(55). – S. 29-36. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-2-29-36. – EDN TPLJYA.

13. Vinogradov, A. V. Opredeleniye ratsional'nykh mest razmeshcheniya mul'tikontaktnykh kommutatsionnykh sistem / A. V. Vinogradov, A. YU. Seyfullin, A. V. Bukreyev // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. – 2024. – T. 18, № 3. – S. 82-90. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-82-90. – EDN KKBOBV

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

А.В. Букреев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ

ФНАЦ ВИМ, тел. 8(953)6281466, e-mail: vim@aleksey-bukreev.ru
Н.С. Сорокин, старший преподаватель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, тел. 89051680833, e-mail: sorokinnc@rambler.ru

STRUCTURAL DIAGRAM OF THE PROTOTYPE OF A DIGITAL TRANSFORMER SUBSTATION

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

[1] FGBNU FNAC VIM
[2] FGBOU VO Oryol SAU

Abstract. Digitalization, automation of rural electrical networks is not feasible without the development of appropriate solutions for 10/0.4 kV transformer substations. Automation tools should ensure the observability and controllability of transformer substations of this voltage class, the creation of digital transformer substations. In particular, the ability to remotely determine the position of switching devices, the reasons for their shutdown, the ability to control some switching devices should be provided. It is also necessary to ensure the performance of functions for monitoring unauthorized voltage supply and preventing reverse transformation, monitoring the parameters of the operating modes of the electrical network at different points of the transformer substation and a number of other functions. The implementation of solutions for digitalization and automation of 10/0.4 kV transformer substations requires the creation of their prototype to conduct the necessary experimental studies and develop automation algorithms. The article presents the developed prototype diagram of a 10/0.4 kV digital transformer substation.

Keywords: transformer substation, digital transformer substation, rural electrical networks, power supply, diagram.

A.V. Vinogradov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution FNAC VIM, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Oryol State Agrarian University, tel. 8(920)2879024, e-mail: winaleksandr@gmail.com
A.V. Bukreev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution FNAC VIM, tel. 8(953)6281466, e-mail: vim@aleksey-bukreev.ru
N.S. Sorokin, Senior Lecturer, Federal State Budgetary Scientific Institution of Higher Education Oryol State Agrarian University, tel. 89051680833, e-mail: sorokinnc@rambler.ru

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 – доктор 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.

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

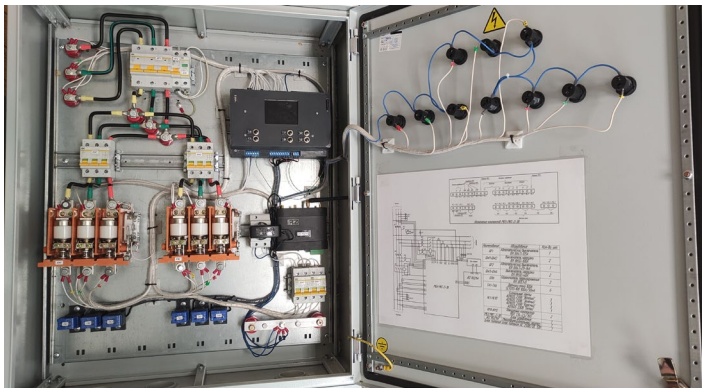
+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

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