Научная статья / Research Article
УДК 621.311

М.П. Баранова
Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
marina60@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА СЕТЯХ 0,4–10 кВ

Аннотация. *Показана возможность повышения надежности работы распределительной сети (0,4–10 кВ в сельской местности путем применения реклоузера – интеллектуального коммутационного аппарата. Установлена возможность повышения автоматизации участка сети Емельяновский РЭС. Представлено описание решений по выбору и установке оборудования на воздушной линии 10 кВ фидера 88-3. Для фидера разработаны 2 варианта схемы сети с разным численным составом дополнительного оборудования и различными местами их установки для выбора лучшего варианта, при котором достигаются эффективные показатели надежности SAIFI, SAIDI и RNRE, что позволят определять возможность применения элементов цифровых технологий на данных сетях и в перспективе внедрять системы искусственного интеллекта.*

Ключевые слова: *линии электропередач, реклоузер, фидер, показатели надежности*

M.P. Baranova
Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
marina60@mail.ru

APPLICATION OF AUTOMATED SYSTEMS ON 0.4–10 kV NETWORKS

Abstract. *The possibility of increasing the reliability of the distribution network (0.4–10 kV in rural areas by using a recloser – an intelligent switching device. the possibility of increasing the automation of the network section of the Emelyanovsky RES was established. A description of the solutions for selecting and installing equipment on the 10 kV overhead line of the 88-3 feeder is presented. For the feeder, 2 variants of the network scheme have been developed with different numbers of additional equipment and different places of their installation, in order to choose the best option in which effective reliability indicators SAIFI, SAIDI and RNRE are achieved, which will determine the possibility of using digital technology elements on these networks, and in the future introduce artificial intelligence systems.*

Keywords: *Power lines, recloser, feeder, reliable indicators*

© Баранова М.П., 2025
Инженерные системы и энергетика. 2025. № 1. С. 3–9.
Engineering systems and energy. 2025;(1):3–9.

Введение. Распределительные сети (РС) 0,4–10 кВ в сельской местности, как правило, включают в себя воздушные линии, кабельно-воздушные линии и трансформаторные подстанции, получающие питание от ПС 35–220/6(10) кВ и опорных распределительных пунктов 6(10) кВ. Большая протяженность РС, дефицит персонала, спецтранспорта в эксплуатирующих организациях, отсутствие комплексной автоматизации, а также недостаточное финансирование работ по реконструкции и техперевооружению РС привели к нарастанию износа оборудования, конструкций и материалов, росту потерь электроэнергии, снижению надежности и безопасности электроснабжения.

По данным ПАО «Россети» (ранее ОАО «Холдинг МРСК»), степень износа электросетевых объектов составляет практически 69 %, воздушных линий – 57 % и трансформаторных подстанций 6(10) кВ – 55 % (отработали более 30 лет). В сетях 6(10) кВ происходило до 30 отключений в год в расчете на 100 км линий, в сетях 0,4 кВ – до 100 отключений в год [1, 2].

Резервные связи в сетях данного класса выполнены на ручных разъединителях. Защитные аппараты на ПС – маломасляные выключатели с электромеханическими терминалами РЗА. Средняя протяженность линий по магистрали составляет 16 км, протяженность ответвлений – 5–6 км. Имеет место значительная неоднородность плотности нагрузки.

В настоящее время сельский электросетевой комплекс РФ не соответствует требованиям современных электроприемников по надежности электроснабжения и качеству электроэнергии из-за изношенности оборудования, низкого уровня управления и обслуживания. Поэтому одной из приоритетных и актуальных задач является разработка оперативной и надежной автоматизированной системы управления энергосетей. Это позволит осуществлять постоянный мониторинг и контроль качества электроэнергии, заблаговременно сообщать о возникающих неполадках и рисках, принимать критически важные решения в кратчайшие сроки [3–5].

Цель исследования – обоснование и разработка системы мероприятий по повышению уровня автоматизации с применением цифровых технологий на ВЛ 0,4–10 кВ.

Объекты и методы. Для того чтобы сократить перерывы электроснабжения потребителей при отказах в электрических сетях 0,4–10 кВ, необходима разработка и внедрение средств автоматизации и цифрового управления для снижения количества отключений в данных сетях, своевременного информирования об отключениях и оперативного их устранения.

Проведен анализ видов и количества повреждений элементов системы электроснабжения, что позволило осуществить правильный выбор мероприятий по повышению ее надежности. По данным рисунка 1 видно, что большинство отключений происходит именно в линиях электропередачи, поэтому комплексная автоматизация должна проводиться в них в первую очередь.

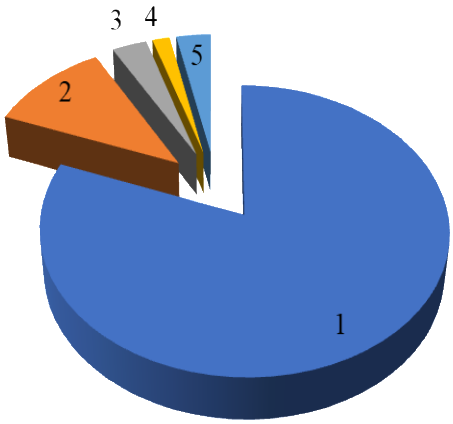
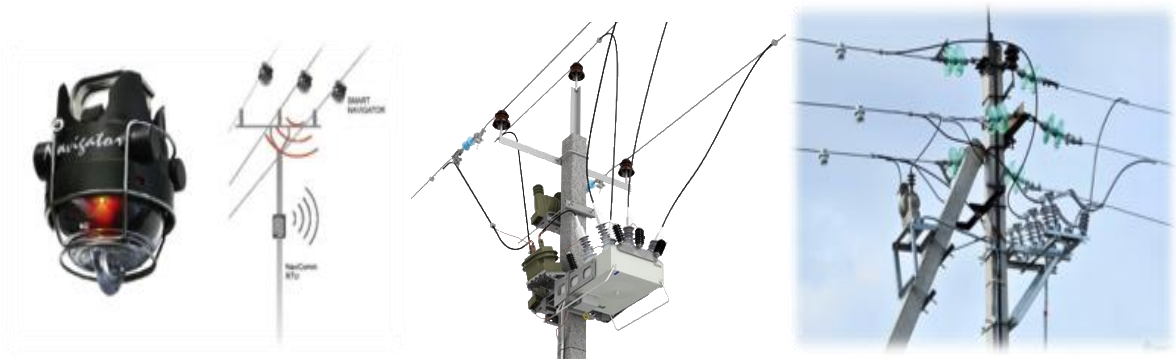


Рис. 1. Диаграмма повреждений:
1 – линия (0,4)10 кВ (81 %); 2 – КТП после предохранителя (11,1 %);
3 – КТП до предохранителя (3,2 %); 4 – разъединитель (1,6 %); 5 – подстанция (3,2 %)

Анализ литературных данных позволил определить основные технические решения, применяемые в настоящее время для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей в России (рис. 2):

- *Средства определения места повреждения* – индикаторы короткого замыкания с возможностью телеуправления. Данные аппараты обеспечивают информирование диспетчера РЭС о поврежденном участке по телеуправлению. Индикаторы повреждений устанавливаются в воздушных линиях (в районе отпаек, рядом с линейными разъединителями, до и после труднопроходимых участков и т. п.) для сокращения времени поиска поврежденного участка.
- *Реклоузер* – интеллектуальный коммутационный аппарат, объединяющий в одном устройстве силовой вакуумный выключатель наружного исполнения с интегрированной системой измерения токов и напряжений и микропроцессорный шкаф управления с продвинутыми функциями защит и автоматики, специально адаптированными под нужды воздушных распределительных сетей. Применяются реклоузеры для реализации децентрализованной автоматизации (секционирования) распределительных сетей с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. Реклоузер способен не только отключать поврежденный участок, но и самостоятельно анализировать аварийные ситуации, передавать информацию на удаленный диспетчерский пункт, что позволяет упростить процесс поиска поврежденного участка, а при совместном применении нескольких пунктов секционирования позволяет производить реконфигурацию сети.
- *Интеллектуальный трехполюсный разъединитель* предназначен для оперативного дистанционного секционирования воздушных линий электропередачи 0,4–10 кВ и определения устойчивых и неустойчивых аварийных процессов, включая все виды замыканий на землю. Основные места установки: труднодоступные, удаленные участки сети вновь сооружаемых и реконструируемых ЛЭП, а также на магистральных ответвлениях ВЛ и для секционирования особо важных участков [3, 4].



а б в

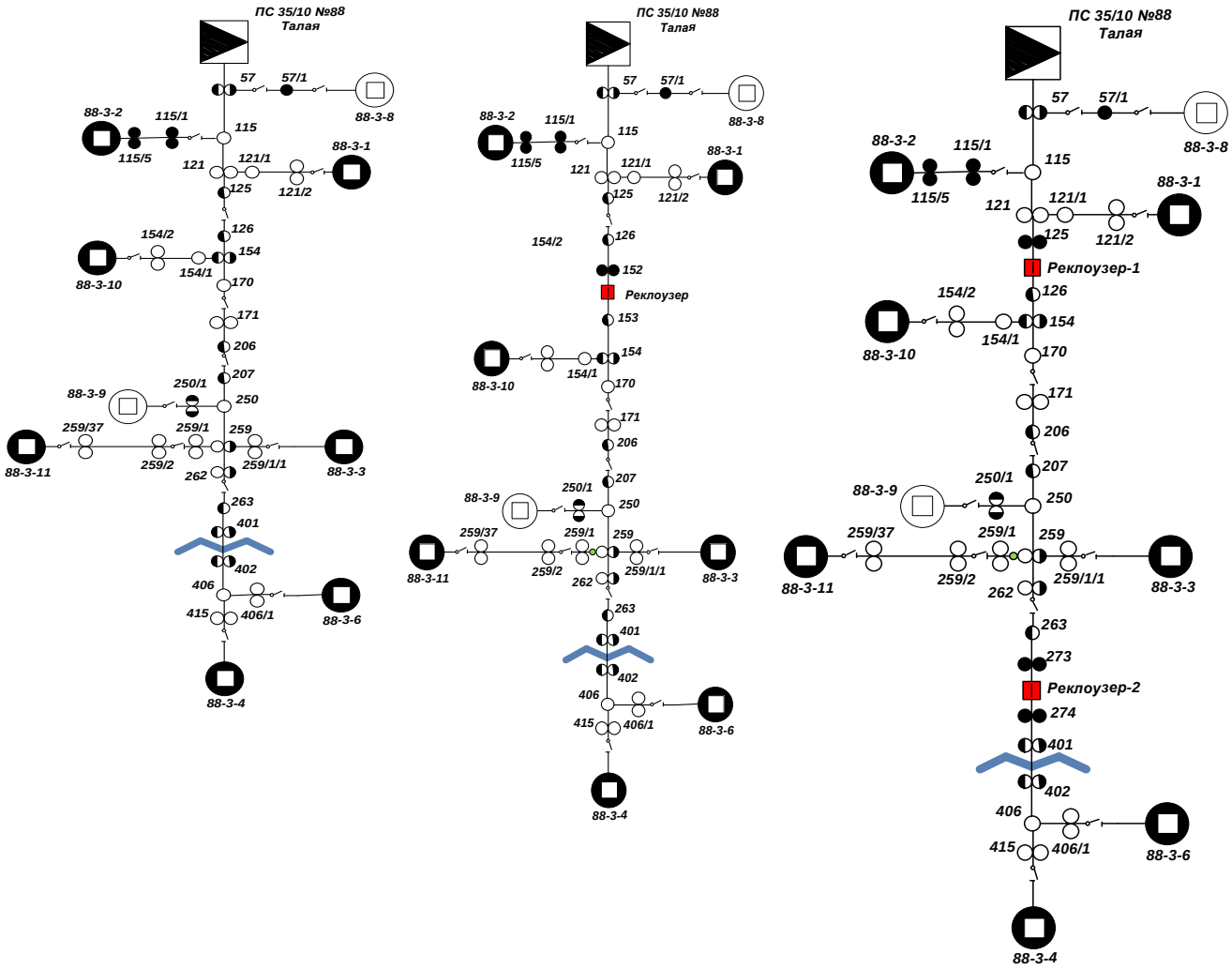
Рис. 2. Устройства автоматизации распределительных сетей (0,4)10 кВ: а – индикатор короткого замыкания; б – реклоузер; в – интеллектуальный трехполюсный разъединитель

В ходе работы были рассмотрены новые цифровые РП, РТП и ТП, проектирующиеся комплектными (в виде комплектных малогабаритных устройств), блочного (КТПБ) или модульного исполнения, оснащенными цифровыми интерфейсами для интеграции в инфраструктуру цифровой сети и цифрового предприятия и точки автоматизированные коммерческого учета электроэнергии АТКУЭ 0,4(10) кВ, предназначенные для преобразования и измерений напряжения и силы переменного тока, измерений активной, реактивной и полной электрической мощности, измерений параметров электрической энергии [6] (СТО 34.01-21-005-2019 «Цифровая электрическая сеть. Требования к проектированию цифровых распределительных электрических сетей 0,4–220 кВ»).

Для установления возможности повышения эффективности работы выбран реклоузер и воздушная линия электропередачи 10 кВ в Емельяновском районе, фидер 88-3 получает питание от подстанции 35/10 кВ «Талая». ЛЭП протяженностью около 32 км обеспечивает электроэнергией четыре населенных пункта: Талое, Красное Знамя, Покровка и Медведа. Помимо этого, от данного фидера электроснабжение получает несколько фермерских хозяйств и других предприятий среднего и малого бизнеса.

Для критериальной оценки были определены и рассчитаны интегральные показатели надежности, которые позволяют достоверно показать эффективность применения реклоузеров в электрических сетях – SAIFI (среднее число отключений потребителя фидера), SAIDI (средняя продолжительность отключений) и RNRE (относительная эффективность реконструкции сети).

Для фидера разработано 2 варианта схемы сети с разным численным составом реклоузеров и дополнительного оборудования и различными местами их установки (рис. 3).



а б в

Рис. 3. Схема участка воздушной линии электропередачи 10 кВ: а – исходная; б – с реклоузером; в – с двумя реклоузерами

На рисунке 3, *а*, представлена исходная схема ф. 88-3. Данная ЛЭП по всей своей протяженности проходит по густому таежному лесу с многочисленными болотами, что значительно затрудняет ее обслуживание и ремонт. Также аварийные ситуации происходят не только по причине большой изношенности, но и из-за падения сухостоя и схлестывания проводов кронами деревьев во время сильных ветров.

В первом варианте был установлен один реклоузер для секционирования сети (рис. 3, *б*). Был выделен участок с большим временем устранения повреждения (труднодоступный участок). Также в начале отпаек, имеющих большую протяженность, для более быстрого выявления локации короткого замыкания были установлены индикаторы тока короткого замыкания, позволяющие значительно сэкономить время на поиске повреждения.

Во втором варианте реконструкции реклоузер-1 установлен в начале зоны труднодоступных участков, а реклоузер-2 делит данную зону попо-

лам. При этом реклоузер-2 установлен на участке сети, где не затруднен подъезд к линии.

Для выбора лучшего варианта, при котором достигаются эффективные показатели надежности, был проведен расчет показателей надежности и эффективности SAIDI, SAIFI, RNRE. Результаты расчета представлены в таблице.

Интегральные показатели надежности

Вариант	SAIFI	SAIDI	RNRE
Исходный	3,753	13,891	–
Вариант а	1,876	4,166	0,5
Вариант б	1,169	2,59	0,688

Анализ данных таблицы показывает, что применение двух реклоузеров на участке сети значительно повышает показатели надежности.

Заключение. Таким образом, в ходе исследования установлена возможность повышения автоматизации участка сети Емельяновского РЭС. Представлено описание решений по выбору и установке оборудования на воздушной линии 10 кВ фидера 88-3.

Для фидера разработаны 2 варианта схемы сети с разным численным составом дополнительного оборудования и различными местами их установки для выбора лучшего варианта, при котором достигаются эффективные показатели надежности SAIFI, SAIDI и RNRE, что позволяет определять возможность применения элементов цифровых технологий на данных сетях и в перспективе внедрять системы искусственного интеллекта.

Список источников

1. Кадыков Ю.М. Будущее сельских распределительных сетей. Преобразование и цифровизация. Направления развития // Новости ЭлектроТехники. 2019. № 2 (116).

2. Глыбина Ю.Н., Беликов Р.П., Фомин И.Н. Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6–10 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 3 (16). С. 43–49. EDN ZGUDUP.

3. Гаврилова А.А., Кузнецова С.Ю. Повышение энергоэффективности в России: внедрение интеллектуальной сети электроснабжения smart grid // Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. Т. 8, № 3. С. 118–121. EDN YTFTPV.

4. Смирнов И.В., Баранов И.А. Повышение надежности электроснабжения сельских электрических сетей // Инновационные тенденции развития российской науки. Ч. 1: мат-лы XIV междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 7–9 апреля 2021 г. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2021. 469 с.

5. Воротницкий В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ // Новости ЭлектроТехники. 2005. № 3 (33).

6. Верные помощники // Вести в энергетике. – URL: http://vesti.energy-journals.ru/vernye-pomoshhniki (дата обращения: 25.12.2024).

References

1. Kadykov Yu.M. Budushchee sel'skikh raspredelitel'nykh setei. Preobrazovanie i tsifrovizatsiya. Napravleniya razvitiya // Novosti EhlektroTekhniki. 2019. № 2 (116).

2. Glybina Yu.N., Belikov R.P., Fomin I.N. Analiz vidov i kolichestva povrezhdenii v ehlektricheskikh setyakh klassa napryazheniya 6–10 kV // Agrotekhnika i ehnergoobespechenie. 2017. № 3 (16). S. 43–49. EDN ZGUDUP.

3. Gavrilova A.A., Kuznetsova S.YU. Povyshenie ehnergoehffektivnosti v Rossii: vnedrenie intellektual'noi seti ehlektrosnabzheniya smart grid // Molodezhnyi vestnik IRGTU. 2018. T. 8, № 3. S. 118–121. EDN YTFTPV.

4. Smirnov I.V., Baranov I.A. Povyshenie nadezhnosti ehlektrosnabzheniya sel'skikh ehlektricheskikh setei // Innovatsionnye tendentsii raz-vitiya rossiiskoi nauki. CH. 1: mat-ly XIV mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh, 7–9 aprelya 2021 g. / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2021. 469 s.

5. Vorotnitskii V., Buzin S. Reklouzer – novyi uroven' avtomatiza-tsii i upravleniya VL 6(10) kV // Novosti EhlektrOTekhniki. 2005. № 3 (33).

6. Vernye pomoshchniki // Vesti v ehnergetike. – URL: http://vesti.energy-journals.ru/vernye-pomoshhniki (data obrashcheniya: 25.12.2024).

Сведения об авторах:

Марина Петровна Баранова – заведующая кафедрой, профессор кафедры системоэнергетики, доктор технических наук, доцент

Information about the authors:

Marina Petrovna Baranova – Head of the Department, Professor of the Department of System Power Engineering, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor