

УДК 621.311

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4-10 КВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ****Тимофей Сергеевич Козлов,**Магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
jbmairu@mail.ru.**Брагин Александр Геннадьевич,**кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный
университет»
bragin_a_g@mail.ru**Аннотация**

В статье рассматривается проблема обеспечения нормативного качества и надежности электроснабжения сельских поселений, эксплуатирующих распределительные сети 0,4–10 кВ с высокой степенью износа. На примере микрорайона Монига (Ленинградская область) представлено техническое обоснование выбора проектных решений при комплексной реконструкции электросетевой инфраструктуры. Проведен сравнительный анализ альтернативных вариантов исполнения воздушных линий электропередачи и конфигураций трансформаторных подстанций. Обоснована технологическая целесообразность применения самонесущих изолированных проводов (СИП) и двухтрансформаторных комплектных подстанций киоскового типа. Выполненные электротехнические расчеты подтверждают, что предложенный комплекс мероприятий позволяет обеспечить качественное электроснабжение по II категории надежности.

Ключевые слова: качество электрической энергии, надежность электроснабжения, реконструкция электрических сетей, сельское электроснабжение, потери напряжения.

**JUSTIFICATION OF DESIGN SOLUTIONS FOR THE RECONSTRUCTION
OF 0.4-10 KV DISTRIBUTION NETWORKS TO IMPROVE THE QUALITY OF
POWER SUPPLY TO RURAL SETTLEMENTS****Kozlov Timofey Sergeevich,**Master's student. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint
Petersburg State Agrarian University"
jbmairu@mail.ru

Bragin Alexander Gennadyevich,

Candidate of Technical Sciences

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State

Agrarian University"

vol9795@yandex.ru

ABSTRACT

This article examines the issue of ensuring standard quality and reliability of power supply in rural communities operating 0.4–10 kV distribution networks with a high degree of wear. Using the Moniga microdistrict (Leningrad Region) as an example, it presents a technical justification for the selection of design solutions for a comprehensive reconstruction of the power grid infrastructure. A comparative analysis of alternative overhead power line designs and transformer substation configurations is conducted. The technological feasibility of using self-supporting insulated wires (SIP) and two-transformer kiosk-type complete substations is substantiated. Electrical calculations confirm that the proposed set of measures ensures high-quality power supply according to Reliability Category II.

Keywords: quality of electrical energy, reliability of power supply, reconstruction of electrical networks, rural power supply, voltage losses.

Развитие инфраструктуры сельских поселений неразрывно связано с необходимостью модернизации существующих распределительных электрических сетей напряжением 10 и 0,38 кВ. Большая часть данного электросетевого комплекса была введена в эксплуатацию в конце прошлого века и на сегодняшний день характеризуется высокой степенью износа.

В отличие от городских и промышленных сетей, сельские воздушные линии электропередачи обладают рядом специфических недостатков:

Большая протяженность линий при относительно малой плотности нагрузки, что ведет к значительным потерям электроэнергии и падению напряжения у удаленных потребителей.

Использование неизолированных проводов малых сечений (например, марки А25-35 мм²), не соответствующих современным токовым нагрузкам.

Высокая уязвимость к климатическим факторам (гололедообразование, ветровые нагрузки, падение деревьев), приводящая к схлестыванию проводов и частым аварийным отключениям.

Указанные факторы обуславливают низкую надежность электроснабжения и существенные отклонения напряжения от норм, установленных в ГОСТ 32144-2013. Снижение уровня напряжения негативно сказывается на работе бытовых электроприемников, в частности, приводит к невозможности пуска асинхронных электродвигателей и отказу систем освещения.

Целью данной работы является техническое обоснование выбора комплекса проектных решений для реконструкции распределительной сети 0,4-10 кВ сельского поселения, направленных на повышение категории надежности электроснабжения и приведение параметров качества электрической энергии в строгое соответствие с требованиями ГОСТ 32144-2013.

В качестве материалов исследования использованы результаты экспериментальных, аналитических и обзорных работ и справочной литературы, представленных в источниках [1–7].

Основой исследования является выбор оптимальной стратегии модернизации изношенных сетей на примере микрорайона Монига (Волховский район, Ленинградская область). Для обеспечения II категории надежности электроснабжения (в связи с наличием социально значимых объектов) был проведен сравнительный анализ доступных технологических решений по двум ключевым направлениям: выбору типа линий электропередачи и конфигурации трансформаторной подстанции (ТП).

Существующая сеть была выполнена неизолированными проводами марок А и АС, что приводило к высоким потерям и частым отключениям. Для реконструкции рассматривались три альтернативных варианта:

Традиционный с заменой на новые неизолированные провода большего сечения (АС-50/АС-70). Преимущества: низкие капитальные затраты. Недостатки: сохранение уязвимости к сжиганию, обледенению и падению деревьев и веток; необходимость широких просек.

Подземный с прокладкой бронированного кабеля (ВББШв) в траншее. Преимущества: максимальная надежность. Недостатки: кратно более высокая стоимость земляных работ, сложность ремонта в зимний период.

Вариант с применением самонесущего изолированного провода (СИП-2 для магистралей, СИП-4 для ответвлений). Преимущества: высокая механическая прочность, снижение потерь, минимизация аварий при касании ветвей деревьев, возможность совместной подвески с линиями связи.

Обоснование выбора: На основе критерия «стоимость-надежность» для условий сельской застройки оптимальным был признан Вариант 3 (СИП). Он обеспечивает надежность, сопоставимую с кабельной линией, при затратах, сопоставимых с традиционной воздушной линией. [1,2,5]

Для замены, устаревшей однотрансформаторной мачтовой подстанции, не удовлетворяющей требованиям II категории надежности, были исследованы следующие типы оборудования:

Столбовые/мачтовые ТП: Дешевы, но ограничены по мощности (обычно до 250 кВА) и не обеспечивают должной защиты оборудования от климатических воздействий и вандализма.

Блочные комплектные ТП (БКТП) в бетонной оболочке: Обладают максимальной надежностью и сроком службы, однако требуют значительных затрат на фундамент и сложной логистики при доставке.

Комплектные ТП киоскового типа (КТПК) в металлическом корпусе: Предлагают баланс между защищенностью (полностью закрытые отсеки РУВН, РУНН и трансформатора) и удобством монтажа.

Обоснование выбора: Для данного объекта была выбрана двухтрансформаторная подстанция киоскового типа (2КТП) с масляными герметичными трансформаторами (2х160 кВА). Такое решение в отличие от мачтовых ТП позволяет реализовать секционирование и автоматическое включение резерва (АВР) по низкой стороне (0,4 кВ), что гарантирует выполнение требований II категории надежности при оптимальных капитальных вложениях.

Для подтверждения правильности выбранной стратегии были произведены электротехнические расчеты режимов работы спроектированной сети микрорайона, разделенного на два независимых фидера (ВЛИ №1 и ВЛИ №2).

Ключевым индикатором эффективности реконструкции является приведение параметров сети в соответствие с ГОСТ 32144-2013 (допустимое отклонение напряжения $\pm 10\%$)

Расчет потерь напряжения производился для контрольных точек сети 10кВ. В точке подключения ближайшей подстанции (где потери напряжения минимальные), в точке подключения расчетной 2КТП №101 и в точке подключения самой удаленной подстанции (у которой самые большие потери напряжения).

Таблица 1 - Таблица расчетных отклонений напряжения у потребителей

Наименования ТП и нагрузка		ТП 100 ближайшая		ТП 101 расчетная		ТП 105 удаленная	
		100%	25%	100%	25%	100%	25%
Уровень напряжения на шинах фидера 10кВ		+2	0	+2	0	+2	0
Потери напряжения в сети ВЛ 10кВ		-0,453	-0,113	-0,838	-0,21	-1,594	-0,398
Трансфор- маторы 10/0,4кВ	Конструктивная надбавка трансформатора	+5	+5	+5	+5	+5	+5
	Потери в трансформатора	-4	-1	-3,21	-0,803	-4	-1
	Регулируемая надбавка трансформатора	0	0	0	0	0	0
Потери напряжения в ВЛИ 0,38кВ		-5	-1,25	-2,52	-0,63	-5	-1,25
Отклонения напряжения у потребителя		-2,453	-0,613	-0,432	-0,108	-3,594	-0,898
Допустимые отклонения напряжения		± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10

На основе проведенного анализа существующих проблем электроснабжения сельских поселений и выполненных электротехнических расчетов для микрорайона Монига можно сделать следующие выводы:

Практическая реализация проекта показала, что одновременная реконструкция распределительной сети (замена голого провода на СИП) и модернизация питающего центра (переход на двухтрансформаторную подстанцию) позволяет перевести электроснабжение социально значимых объектов сельской местности из III во II категорию надежности, обеспечив возможность автоматического ввода резерва (АВР).

Применение комплектных подстанций киоскового типа в закрытом металлическом корпусе и использование самонесущих изолированных проводов (СИП) позволяет минимизировать риски аварийных отключений, характерные для сельских сетей (влияние климатических факторов, падение деревьев, схлестывание фаз).

Выполненные поверочные расчеты подтвердили высокую эффективность выбранного комплекса решений. Выбранные мероприятия позволили радикально улучшить качество электроэнергии. Расчетные потери напряжения у наиболее удаленного потребителя снижены до уровня -2,52%, что формирует надежный запас прочности по отношению к предельно допустимым нормам.

Список литературы:

1. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: Бибком, 2015. 655 с.
2. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35кВ/ Под редакцией И.Т. Горюнова и др. – М.: Папирус Про, 1999. – 608 с.
3. Волков В.В., Басуматорова Е.А., Ставицкий А.В. и др. Способы оптимизации электрических потерь в распределительных сетях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2025. – № 3 (113). – С. 150–156.
4. Волчков Ю.Д., Махиянова Н.В., Ермолов Д.Н. Локтионов А.Н. Обоснование оптимальных вариантов реконструкции сетей 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения. // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 2 (23) – С. 66–72.
5. Горюнов В.Н., Бубенчиков А.А., Гиршин С.С., Петрова Е.В., Левченко А.А. Эффективность применения самонесущих изолированных проводов в современных электроэнергетических системах // Омский научный вестник. – 2009. – № 1. – С. 106–108.
6. Белый В.Б., Куницын Р.А. Оценка способов снижения потерь напряжения в системах сельского электроснабжения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (222). – С. 107–113. – DOI: 10.53083/1996-4277-2023-222-4-107-113.
7. Виноградова А.В., Виноградов А.В., Конкин Д.В. Повышение надёжности трансформаторных подстанций 10/0.4 кВ заменой одного трансформатора на два // Агротехника и энергообеспечение. – 2023. – № 3 (40). – С. 65–75.

References:

1. Leshchinskaya T.B., Naumov I.V. Power Supply for Agriculture. Moscow: Bibkom, 2015. 655 p.
2. Makarov E.F. Handbook of 0.4-35 kV Electrical Networks / Edited by I.T. Goryunov et al. – Moscow: Papirus Pro, 1999. – 608 p.
3. Volkov V.V., Basumatorova E.A., Stavitsky A.V. et al. Methods for Optimizing Electrical Losses in Distribution Networks. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University, 2025, No. 3 (113), pp. 150–156. (In Russ)
4. Volchkov Yu.D., Makhiyanova N.V., Ermolov D.N. Loktionov A.N. Justification of Optimal Options for the Reconstruction of 0.38 kV Networks for Agricultural Purposes. Agrotechnics and energy supply, 2019, No. 2 (23), pp. 66-72. (In Russ)
5. Goryunov V.N., Bubenchikov A.A., Girshin S.S., Petrova E.V., Levchenko A.A. Efficiency of using self-supporting insulated wires in modern electric power systems. Omsk Scientific Bulletin, 2009, No. 1, pp. 106-108. (In Russ)
6. Bely V.B., Kunitsyn R.A. Evaluation of methods for reducing voltage losses in rural power supply systems. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2023, No. 4 (222), pp 107-113. DOI: 10.53083/1996-4277-2023-222-4-107-113. (In Russ)
7. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Konkin D.V. Improving the reliability of 10/0.4 kV transformer substations by replacing one transformer with two. Agrotechnics and energy supply, 2023, No. 3 (40), pp. 65–75. (In Russ).