

УДК 621.316

Шаламова Анастасия Анатольевна

соискатель на степень магистра Южно-Уральского государственного
аграрного университета, независимый исследователь, Россия, город
Челябинск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСТАНЦИИ 110 кВ ДЛЯ СЕЛА ХАРЛУШИ СОСНОВСКОГО РАЙОНА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ: РАСЧЕТНАЯ МЕТОДИКА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Abstract. The paper presents a design methodology for a 110 kv substation for the rural settlement of Kharlushi (Sosnovsky district, Chelyabinsk region), considering the specifics of agricultural load and prospective development. The article includes load calculation, short-circuit current analysis, equipment selection, and a practical implementation algorithm. The proposed solutions are suitable for rural distribution networks and can be used in engineering practice and academic research.

Keywords: 110 kv substation, power supply design, rural electric networks, short-circuit currents, equipment selection.

Аннотация. В статье предложена методика проектирования подстанции 110 кВ применительно к условиям села Харлуши с учётом специфики сельскохозяйственной нагрузки и перспективного развития территории. Приведены расчёты нагрузки, токов короткого замыкания, выбор основного оборудования и схем распределительных устройств. Практическая значимость работы состоит в разработке типового расчётного алгоритма и конкретных технических решений, пригодных для внедрения в распределительных сетях Сосновского района.

Ключевые слова: подстанция 110 кВ, проектирование, сельские электрические сети, расчёт токов КЗ, выбор оборудования, электроснабжение агропромышленного сектора.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие сельских территорий в Челябинской области сопровождается ростом электрической нагрузки, связанной как с жилищным строительством, так и с расширением агропромышленного комплекса. Для Сосновского района характерна рассредоточенность потребителей и значительная сезонная неравномерность нагрузки, что предъявляет повышенные требования к надёжности и гибкости схем электроснабжения.

Село Харлуши выступает перспективным узлом нагрузки: здесь планируется развитие фермерских хозяйств, модернизация социальной инфраструктуры и расширение жилой застройки. Существующие сети 10 кВ не обеспечивают необходимого резерва мощности и не позволяют организовать полноценное резервирование. Создание подстанции 110 кВ решает эти задачи, снижая потери, повышая надёжность и создавая техническую базу для дальнейшего развития.

Цель работы — разработать комплекс технических решений по проектированию ПС 110 кВ с практической проработкой расчётов и выбором оборудования, адаптированного к условиям села Харлуши. Новизна заключается в учёте специфики сельской сельскохозяйственной нагрузки при расчёте мощности трансформаторов, а также в применении унифицированной методики расчёта токов КЗ и выбора уставок релейной защиты для типовых схем 110 кВ.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе использованы следующие методы:

- **Расчёт электрических нагрузок** — по методу суммирования с учётом коэффициентов одновременности и сезонности, принятых для сельских территорий (ПУЭ, отраслевые методические указания) [6].
- **Расчёт токов короткого замыкания** — в именованных единицах с приведением сопротивлений к базисным условиям [1].
- **Выбор оборудования** — по номинальным параметрам, термической и динамической стойкости к токам КЗ.

- **Технико-экономическое обоснование** — на основе типовых решений и укрупнённых стоимостных показателей.

Исходные данные приняты на основе:

- перспективных планов развития села Харлуши (открытые данные администрации Сосновского района);
- типовых графиков нагрузки жилых и сельскохозяйственных объектов;
- технических характеристик оборудования из каталогов производителей.

РАСЧЕТ НАГРУЗКИ И ВЫБОР МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Для определения расчётной мощности трансформаторов использован метод суммирования нагрузок с учётом коэффициентов одновременности и сезонности [4]. В сельской местности коэффициент одновременности для жилой застройки принимается в диапазоне 0,6–0,7, для сельскохозяйственных потребителей — 0,5–0,6 из-за неравномерного графика работы.

Исходные данные по нагрузке села Харлуши:

- жилой фонд: $P_{ж} = 7,5$ МВт;
- социальная инфраструктура: $P_{соц} = 1,2$ МВт;
- сельхозпотребители (фермы, зернохранилища, насосные станции): $P_{с/х} = 3,3$ МВт.

Суммарная активная мощность:

$$P_{сумм} = P_{ж} + P_{соц} + P_{с/х} = 7,5 + 1,2 + 3,3 = 12,0 \text{ МВт.}$$

При среднем коэффициенте мощности $\cos \varphi = 0,9$ полная мощность:

$$S_{сумм} = \frac{P_{сумм}}{\cos \varphi} = \frac{12,0}{0,9} \approx 13,3 \text{ МВА.}$$

С учётом коэффициента одновременности $k_{одн} = 0,65$ расчётная мощность:

$$S_{расч} = S_{сумм} \cdot k_{одн} \approx 13,3 \cdot 0,65 \approx 8,6 \text{ МВА.}$$

Для обеспечения надёжности и резерва мощности принимается два трансформатора с загрузкой в нормальном режиме 60–70 %. Тогда номинальная мощность каждого:

$$S_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{расч}}}{0,7} \approx \frac{8,6}{0,7} \approx 12,3 \text{ МВА.}$$

Выбираем трансформаторы мощностью 16 МВА (ТМН-16000/110) с регулированием под нагрузкой (РПН) [2,3]. Это обеспечивает работу в нормальном режиме с загрузкой около 54 % и возможность питания всей нагрузки одним трансформатором в послеаварийном режиме.

Таблица 1. Расчёт нагрузки и выбор трансформаторов

Категория потребителей	Активная мощность, МВт	Коэффициент мощности	Полная мощность, МВА	Коэффициент одновременности	Расчётная полная мощность, МВА
Жилой фонд	7,5	0,9	8,33	0,65	5,42
Социальная инфраструктура	1,2	0,95	1,26	0,7	0,88
Сельхозпотребители	3,3	0,85	3,88	0,6	2,33
Итого	12,0	—	13,47	—	8,63

Выбор главной схемы электрических соединений

Для ПС 110 кВ в сельской местности рациональна схема «два блока линия–трансформатор» с ремонтной перемычкой на стороне 110 кВ. На стороне 10 кВ применяется схема с одной секционированной системой шин и АВР на секционном выключателе.

Преимущества выбранной схемы:

- простота эксплуатации и обслуживания;
- высокая надёжность за счёт резервирования;
- возможность поэтапного развития;
- совместимость с типовыми ячейками КРУ 10 кВ и современными микропроцессорными защитами.

Расчёт токов короткого замыкания и проверка оборудования

Принимаем мощность короткого замыкания на шинах 110 кВ питающей сети $S_{кз}=2500$ МВА. Базисный ток на стороне 110 кВ:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 115} \approx 12,56 \text{ кА.}$$

Сопротивление системы:

$$X_{\text{сист}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{кз}}} = \frac{115^2}{2500} = 5,29 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора 16 МВА с $u_k=10,5\%$:

$$X_{\text{тр}} = \frac{u_k\% \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 16} = 8,66 \text{ Ом.}$$

Ток трёхфазного КЗ на шинах 110 кВ подстанции:

$$I_{\text{кз}(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{сист}} + X_{\text{тр}})} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot (5,29 + 8,66)} \approx 4,75 \text{ кА.}$$

Таблица 2. Проверка оборудования по токам КЗ

Оборудование	Номинальный ток, А	Ток отключения, кА	Термическая стойкость, кА (3 с)	Динамическая стойкость, кА	Факт. ток КЗ, кА	Соответствие
Выключатель 110 кВ	1250–2000	20	20	51	4,75	Да
Разъединитель 110 кВ	1000–1250	—	20	50	4,75	Да
Трансформатор тока 110 кВ	600–1000	—	20	50	4,75	Да

Предложенная методика расчёта нагрузки с учётом коэффициентов одновременности позволяет корректно оценить реальную нагрузку сельской

территории, избегая как завышения, так и занижения мощности. Выбор двух трансформаторов 16 МВА обеспечивает необходимый резерв и возможность работы в послеаварийном режиме, что соответствует требованиям к электроснабжению потребителей 2 категории [5,6].

Схема «два блока линия–трансформатор» с ремонтной перемычкой признана оптимальной для условий села Харлуши, поскольку она сочетает простоту, надёжность и возможность поэтапного расширения. Расчёт токов короткого замыкания подтвердил, что выбранное оборудование обладает достаточным запасом по термической и динамической стойкости.

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенный алгоритм может быть использован для проектирования аналогичных подстанций в других сельских населённых пунктах Сосновского района и Челябинской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена методика проектирования подстанции 110 кВ для условий села Харлуши с учётом специфики сельской сельскохозяйственной нагрузки. Практическая ценность работы заключается в разработке расчётного алгоритма, выборе оборудования и схем, пригодных для применения в распределительных сетях Сосновского района. Предложенные решения обеспечивают надёжное электроснабжение, резерв мощности и возможность поэтапного развития. Дальнейшие исследования могут быть направлены на внедрение цифровых технологий управления и мониторинга, а также на интеграцию возобновляемых источников энергии для повышения энергоэффективности и устойчивости энергосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 58887-2020. Системы электроснабжения. Термины и определения. – Введ. 2021–01–01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 12 с.
2. Каталог продукции // АО «Уралэлектротяжмаш» : [официальный сайт]. – URL: <https://www.uetm.ru> (дата обращения: 01.09.2026).

3. Каталог электротехнического оборудования // АО «Электrozавод» : [официальный сайт]. – URL: <https://www.elektrozavod.ru> (дата обращения: 01.09.2026).
4. Методические рекомендации по проектированию развитие систем электроснабжения и распределительных электрических сетей. – М. : НИУ «МЭИ», 2021. – 64 с.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – М. : КноРус, 2024. – 488 с.
6. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Методические указания по расчету токов короткого замыкания для выбора оборудования, защит и проверки устойчивости энергосистем. – М. : ОАО «ФСК ЕЭС», 2009. – 81 с.