



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 69

РЕКЛОУЗЕР КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

RECLOSER AS A TOOL TO IMPROVE RELIABILITY

Сивеев Тихон Максимович, студент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г.Москва

Сорокин Андрей Сергеевич, магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г.Москва

Груздов Андрей Геннадьевич, магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г.Москва

Дегтярёв Дмитрий Алексеевич, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г.Москва

Siveev Tikhon Maximovich, student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow

Sorokin Andrey Sergeevich, Master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow

Gruzdov Andrey Gennadievich, Master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow

Degtyarev Dmitry Alekseevich, postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема снижения показателей надежности электроснабжения потребителей Российской распределительной сети. Одним из средств повышения надежности является реклоузер (от английского recloser – переключатель). В исследовании применялся аналитический метод оценки срока окупаемости инвестиций при модернизации распределительной сети. Применение реклоузеров позволяет повысить надежность, качество электроснабжения и снизить ущерб от недоотпуска электрической энергии.

Abstract: This article discusses the problem of reducing the reliability of power supply to consumers of the Russian distribution network. One of the means of increasing reliability is a recloser (from the English recloser – switch). The study used an analytical method for assessing the payback period of investments in the modernization of the distribution network. The use of reclosers makes it possible to increase the reliability, quality of power supply and reduce damage from under-discharge of electric energy.

Ключевые слова: Smart Grid, реклоузер, надежность, фидер, срок окупаемости, тариф.

Keywords: Smart Grid, recloser, reliability, feeder, payback period, tariff.

На сегодняшний день 85% электрических сетей в России, построены в период с 1961 по 1985 года. Больше 60% распределительных сетей исчерпали свой ресурс и около 80 % нуждаются в модернизации. Это приводит к частым перерывам электроснабжения. Вследствие этого происходит снижение

показателей надежности электроснабжения потребителей. Актуальность исследования обусловлена направлением развития электроэнергетического комплекса. В последнее время все большее распространение получают проекты, связанные с реализацией концепции Smart Grid, а внедрение такого оборудования, как реклоузер полностью отвечает основным положениям указанной концепции.

Организация договорных взаимоотношений между участниками розничного и оптового рынков электроэнергии, сильно увеличиваются запросы потребителей к надежности и качеству электроснабжения. Недоотпущенная электрическая энергия (недоотпуск) – это то количество электрической энергии, которую абонент (потребитель) недополучил за время перерыва электроснабжения, включая отключения и ограничения. Для повышения надежности электроснабжения потребителей, уменьшения потерь и убыткам компаний поставщиков, связанных с недоотпуском электроэнергии, а также к комплексному переходу к децентрализованной энергетике необходима некая модернизация.

Реклоузер – это устройство, предназначенное для автоматического отключения, а также повторного включения цепи переменного тока в режимах КЗ и без КЗ по предварительно заданной последовательности циклов отключения и включения с последующим возвратом АПВ в исходное состояние [1].

Реклоузер способен осуществлять реконфигурацию электрической сети без участия оперативного персонала. Данные устройства производятся для установки в сетях напряжением до 35 кВ.

Обязательными и основными функциями реклоузера являются:

- производство оперативных переключений в сети распределения (дистанционная и местная конфигурация сетей);
- автоматическое отключение поврежденных участков;
- повторное автоматическое включение линий;
- автоматическое выделение поврежденных участков;

- автоматическое восстановление электропитания неповрежденных участков;
- автоматический сбор данных о параметрах функционирования сетей;
- интеграция с системами телемеханики.

Применение реклоузера подразумевает основные варианты автоматического секционирования воздушных распределительных сетей [2]:

- секционирование линий при использовании плавких предохранителей;
- секционирование линий с односторонним питанием и сетевым резервом;
- разборка и сборка длинной линии;
- использование при построении открытых распределительных устройств;
- подключение ответственных абонентов электрической сети;
- разграничение балансовой принадлежности между субабонентами;
- оптимизация диспетчерского управления сетью;
- резервирование потребителей от двух и более независимых источников.

В общем случае применение реклоузеров можно разделить на две группы:

- для обеспечения защиты радиальных фидеров;
- для обеспечения защиты кольцевых фидеров.

Если рассматривать применение реклоузеров на длинных фидерах, то в случае традиционного согласования токовых защит по ступенчатому принципу выдержки времени защит на головных выключателях будут существенно завышены, так как при большой длине участка для организации

надёжной децентрализованной системы управления аварийными режимами требуется установка большого числа реклоузеров (рисунок 1).

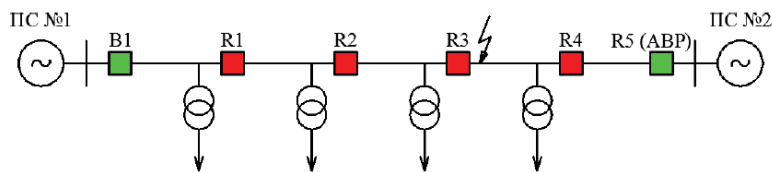


Рисунок 1. Элементы ПСС-10

Благодаря высокому быстродействию, реклоузер легко внедряется в существующие сети. Это возможно благодаря отсутствию требований по перенастройке (увеличению выдержки времени) защит на головных выключателях линии [3].

Основным компонентом реклоузера, его коммутирующим элементом является вакуумный выключатель. Занять это место вакуумным выключателям позволили две их особенности: высокая скорость срабатывания и возможность автоматизированного управления состоянием вакуумного выключателя. В настоящее время чаще всего в реклоузерах применяются вакуумные выключатели отечественных производителей.

Для примера рассмотрим реклоузер ПСС-10.

ПСС-10 предназначен для автоматического секционирования воздушных или комбинированных линий электропередач трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 6(10) кВ [5].

Применение реклоузера ПСС-10 позволяет улучшить работу распределительной сети 6(10) кВ, а также повысить надежность электроснабжения потребителей путем дальнейшей модернизации сети.

Основными конструктивными элементами ПСС-10 являются:

- высоковольтный модуль (ВМ);
- низковольтный модуль (НМ);
- соединительный кабель;
- монтажные рамы крепления ВМ на опоры;
- монтажная рама крепления НМ на опору.

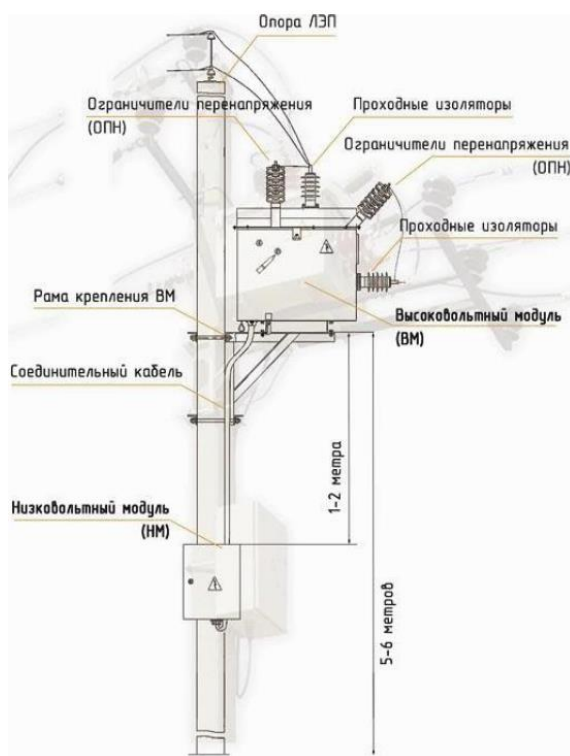


Рисунок 2. Элементы ПСС-10

В настоящее в энергосистеме РФ находится в эксплуатации весомое количество ПС 35 кВ и ниже (таблица 1) [4]. Существенная доля оборудования, которое сегодня используется на этих подстанциях – морально устаревшие продукты, такие как отделители и короткозамкатели (ОДКЗ), создающие для отключения аварии еще более серьезную аварию в энергосистеме, или предохранительные вставки, которые в современном мире уже не ставят даже на трансформаторы 10 кВ мощностью 630 кВА и более [6].

Таблица 1. Количество электрических ПС в России

№ п./п. Уровень	Напряжение, кВ	Напряжение, кВ
ФСК	220 и выше	860
МРСК	35 - 220	16600
РС	6 - 35	150000

Возраст коммутационного оборудования сегодня плачевный, 13% оборудования отметило пятидесятилетний юбилей с начала эксплуатации, а

75% – двадцатипятилетний юбилей. В связи с этим рациональна капитальная замена подстанций на новые, а не модернизация существующих. Но данный путь связан с большим вложением средств, что естественно крайне затруднительно. Одним из путей хоть не полноценного, но решения данной проблемы, и, в частности, повышения качества электропитания, является применение реклоузеров. Модернизация сети путем установки реклоузеров несравнимо дешевле монтажа новых подстанций или же переустройства воздушных линий на провода СИП.

Применение реклоузеров представлено в реестре инновационных решений ПАО «Россети» от 17.01.2017 [7]. Инновационным признаком отмечена высокая степень автоматизации сети при использовании данных аппаратов. Устройство ориентировано на применение для:

- повышения ключевых показателей надёжности сетей;
- внедрения двукратного АПВ;
- локализации повреждённого участка сети;
- сокращения количества отключаемых при аварии потребителей;
- сокращения количества отключений при проведении регламентных работ;
- уменьшения времени поиска мест повреждения

Для определения целесообразности произведём технико-экономический анализ. Приведём расчёт срока окупаемости, когда будет установлен 1 реклоузер.

Ежегодные дополнительные доходы сетевой компании от снижения объемов недоотпуска будут равны:

$$P_d = T \cdot (W_0 - W_1), \quad (1)$$

где P_d – дополнительная прибыль, руб;

T – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

W_0 – объем недоотпуска без реклоузеров, кВт·ч;

W_1 – объем недоотпуска с одним реклоузером, кВт·ч.

Приведём значения недоотпуска электроэнергии, используя усредненные данные по нагрузке потребителей (учитывающие как летнюю, так и зимнюю нагрузки), т.е. во сколько раз снизится недоотпуск, при использовании разного количества реклоузеров. При установке одного реклоузера возможно уменьшение объема недоотпуска электрической энергии с 79560 кВт·ч до 16787,2 кВт·ч.

Тогда ежегодный дополнительных доход будет равен:

$$P_d = 3,22 \cdot (79560 - 16787,2) = 0,202 \text{ млн. руб.}$$

Произведем расчет дохода по снижению ущерба, учитывая, что для возмещения убытков потребителю при ограничении или отключении электроснабжения, согласно договорным пунктам, полагаются платежи в тройном размере от действующего тарифа на электроэнергию:

$$P_{c.y.} = 3 \cdot T \cdot (W_0 - W_1) = 3 \cdot 3,22 \cdot (79560 - 16787,2) = 0,606 \text{ млн. руб.}$$

Таким образом, общий доход от установки одного реклоузера за год будет составлять:

$$P_{\Sigma} = P_d + P_{c.y.} = 0,202 + 0,606 = 0,808 \text{ млн. руб}$$

Для определения стоимости тарифов в последующие годы, проанализируем тарифы на электроэнергию в данном районе за последние восемь лет. С помощью аппроксимации смоделируем величины тарифов в будущем. У построенной линии тренда величина достоверности аппроксимации равна 0,988, что вполне удовлетворительно. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Тариф на электроэнергию

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Тариф, руб/кВт·ч	2,09	2,38	2,44	2,64	2,81	2,93	3,07	3,22	3,39

Таблица 2. Тариф на электроэнергию (продолжение)

Год	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Тариф, руб/кВт·ч	3,70	3,85	4,01	4,17	4,32	4,48	4,63	4,79	4,94

Капитальные затраты принимаются равными 431,074 тыс. руб [8], эксплуатационные издержки принимаются равными 0 руб, так как реклоузер относится к необслуживаемым устройствам. Срок службы реклоузера составляет 25 лет.

Согласно экономической теории, срок окупаемости ($T_{ок}$) рассчитывается через чистый дисконтированный доход, путем приведения величины чистого дохода к начальному моменту времени $t = 0$ при заданном коэффициенте дисконтирования E . Инфляцией в данном расчете пренебрегаем, т.к. повышение тарифов нивелирует этот процент. Таким образом, $T_{ок}$ находится из решения уравнения:

$$\sum_{t=1}^{T_{ок}} ЧДД_t \cdot (1 + E)^{-t} - K = 0, \quad (1)$$

где E – ставка дисконтирования, принятая 12%;

K – капитальные затраты, руб.

Представим рассчитанные показатели дисконтированных (приведенных к начальному времени) затрат и поступлений по данному проекту в виде графика:

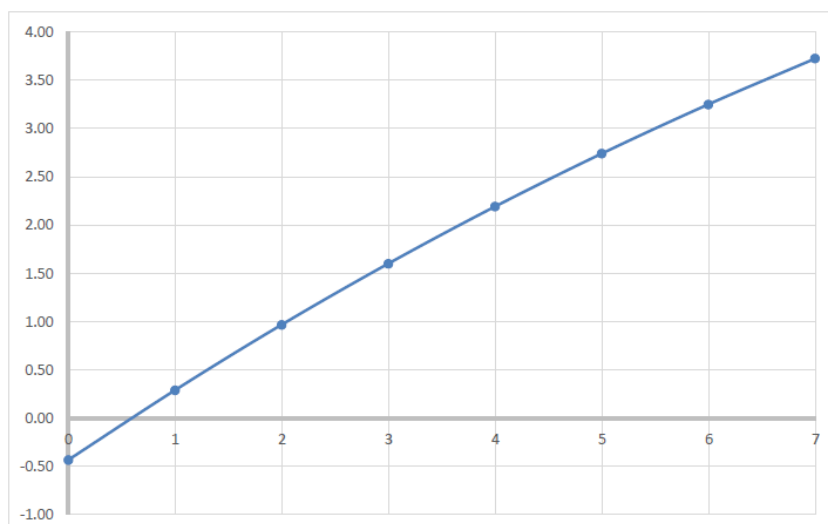


Рисунок 3. Срок окупаемости одного реклоузера

По данному графику наглядно видно, что реклоузер окупается уже в первом году. Что говорит о экономически обоснованном мероприятии. Внедрение реклоузеров в распределительных сетях является не только перспективным, но и технологически оправданным мероприятием, а также соответствует «Концепции технического перевооружения электрических сетей ПАО «Россети». Применение реклоузеров позволяет повысить надежность электроснабжения и существенно снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии. Уже сегодня можно с полной уверенностью сказать, что проектирование и строительство электрических сетей с применением реклоузеров позволит в недалеком будущем вывести отечественные электрические сети среднего напряжения на новый уровень автоматизации и управления.

Литература:

1. Afroz Alam. Switch and recloser placement in distribution system considering uncertainties in loads, failure rates and repair rates / Afroz Alam, Vinay Pant, Biswarup Das // Electric Power Systems Research, Volume 140, November 2016. – p. 619-630.
2. Механизмы контроля надежного и качественного электроснабжения потребителей электрической энергии [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: <https://rg.ru/2013/04/08/elektroseti-site-dok.html> (дата обращения: 12.06.2020 г.).

3. Попов В.А. Современные технические решения для повышения надежности функционирования воздушных линий номинальным напряжением 6, 10 кВ / В.А. Попов, В.В. Ткаченко, Ю.Д. Манойло // Промелектро №6, 2010. – с. 28–36.
4. Система электроснабжения подстанции ФСК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.systemct.ru/article/3/> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2019).
5. 14. Инициатива. Вакуумные реклоузеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vakuum.ru/catalog/proizvodstvo-i-izgotovlenie/reklouzery/> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2019).
6. 15. Реклоузеры 35 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smart35.ru/РЕК35/> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2019).
7. Реестр инновационных решений ПАО «Россети». ПАО «Россети», 2017 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosseti.ru/investment/introduction_solutions/doc/Reestr_IR170117.pdf/ – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 17.05.2019).
8. Пункт автоматического секционирования, пункт автоматического ввода резервного питания, пункт отключения ответвления воздушных и воздушно-кабельных линий 10 (6) кВ на базе реклоузера РВА/TEL-10-12,5/630. ОТП-26.0013, 01.01.2019. – с. 70.

Literature:

1. Afroz Alam. Switch and recloser placement in distribution system considering uncertainties in loads, failure rates and repair rates / Afroz Alam, Vinay Pant, Biswarup Das // Electric Power Systems Research, Volume 140, November 2016. – p. 619-630.

2. Mechanisms for monitoring reliable and high-quality power supply to consumers of electric energy [Electronic resource]. – Access mode: <https://rg.ru/2013/04/08/elektroseti-site-dok.html> (date of application: 12.06.2020).
3. Popov V.A. Modern technical solutions for improving the reliability of the functioning of overhead lines with a nominal voltage of 6, 10 kV / V.A. Popov, V.V. Tkachenko, Yu.D. Manoilo // Promelectro No. 6, 2010. – pp. 28-36.
4. The power supply system of the substation of the Federal Grid Company [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.systemct.ru/article/3/> – Title from the screen. – (Date of application: 05.05.2019).
5. 14. Initiative. Vacuum reclosers [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.vakyym.ru/catalog/proizvodstvo-i-izgotovlenie/reklouzery/> – Title from the screen. – (Accessed: 05.05.2019).
6. 15. 35 kV Reclosers [Electronic resource]. – Access mode: <http://smart35.ru/REK35/> – Title from the screen. – (Accessed: 05.05.2019).
7. The register of innovative solutions of PJSC ROSSETI. PJSC Rosseti, 2017 – [Electronic resource]. – Access mode: http://www.rosseti.ru/investment/introduction_solutions/doc/Reestr_IR170117.pdf / – Title from the screen. – (Accessed 17.05.2019).
8. Point of automatic partitioning, point of automatic input of backup power, point of disconnection of branches of overhead and overhead cable lines of 10 (6) kV on the basis of the recloser of the RV/TEL-10-12,5/630 . ОТП-26.0013, 01.01.2019. – с. 70.

© Сивеев Т.Н., Сорокин А.С., Груздов А.Г., Дегтярёв Д.А. Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник», номер 5/2022.

Для цитирования: Сивеев Т.Н., Сорокин А.С., Груздов А.Г., Дегтярёв Д.А. РЕКЛОУЗЕР КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник», номер 5/2022.