

го обрывом провода вследствие падения дерева, удалось обеспечить бесперебойное электроснабжение социально значимых объектов.

### **Выводы**

1. Внедрение предохранителей-разъединителей выхлопного типа в распределительные сети напряжением 6-20 кВ является перспективным, технологически оправданным мероприятием и отвечает концепции технического перевооружения электрических сетей Украины.

2. Применение предохранителей-разъединителей серии ПРВТ-10 кВ производства ЗАО «ЗЭТО» (г. Великие Луки, РФ) повысит надежность и устойчивость электроснабжения потребителя, позволит снизить эксплуатационные затраты, при этом ПРВТ-10 отвечают всем требованиям по безопасности обслуживания.

### **Список использованных источников**

1. Предохранитель-разъединитель выхлопной ПРВТ-10.ПУ1. Руководство по эксплуатации. – Великие Луки: ЗАО «ВЗВА», 1999. – 58с.
2. Предохранители-разъединители выхлопного типа серии ПРВТ-10 [Электронный ресурс] / Завод электротехнического оборудования. – Режим доступа: <http://zeto.ru/plug-ins/content/content.php?content.25>
3. Руководящие материалы по проектированию распределительных электрических сетей. Рекомендации по применению предохранителей-разъединителей ПРВТ-10 в воздушных электрических сетях напряжением 6-10 кВ. – М.: ОАО «НПЦ электроэнергетики» - РОСЭП, 2008. – 15 с.
4. СОУ-Н ЕЕ 20. 262:2007 Настанова. Застосування запобіжника-роз'єднувача ПРВТ-10.ПУ1 у проєктах реконструкції, модернізації та нового будівництва розподільних електричних мереж напругою 10 кВ. – К.: Міністерство палива та енергетики України, 2007. – 29 с.

УДК 621.311

**Р.А. Буйный**, канд. техн. наук

**И.В. Дихтярук**, инженер

**А.В. Красножон**, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ РЛКВ-С-10 ДЛЯ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ**

*Рассмотрены особенности использования современных коммутационных аппаратов для повышения надежности электроснабжения потребителей, а именно применение разъединителя РЛКВ-С-10 с двигательным приводом типа ПДЖ-1 УХЛ1 для секционирования электрических сетей напряжением 10 кВ.*

### **Вступление**

Темпы развития инфраструктуры современного города требуют повышения надежности электроснабжения потребителей. В первую очередь это достигается за счет уменьшения недоотпуска электроэнергии в электрических сетях (ЭС).

В настоящее время одним из эффективных способов повышения надежности ЭС является автоматическое секционирование линий (АСЛ) коммутационными аппаратами. Секционирование – это разделение линии электропередачи на несколько участков с целью сокращения количества потребителей, которые отключаются при возникновении повреждения. Назначение всех типов секционирующих аппаратов заключается в быстрой локализации и отделении поврежденного участка от основной линии во время короткого замыкания (КЗ) или бестоковой паузы.

В настоящее время для автоматического секционирования ЭС используются три типа электрических аппаратов [1]:

- плавкие предохранители;
- выключатели, оснащенные многофункциональной релейной защитой и автоматикой, способные отключать токи КЗ;
- автоматические отделители, которые представляют собой разъединители с простыми устройствами автоматики, способными отключать аппарат только в бестоковую паузу.

Современные средства АСЛ, такие как реклоузеры, представляют собой надежные коммутационные устройства, оборудованные системами измерения токов и напряжений, защиты и автоматики, а также системами дистанционного управления.

Но, несмотря на преимущества таких устройств, они не нашли широкого применения в ЭС, т.к. стоимость работы оперативно-выездной бригады (ОВБ) и убытки от недоотпуска электрической энергии (ЭЭ) оказываются меньшими, чем эффект от использования таких средств секционирования.

### **Основные материалы исследований**

В настоящее время становится возможным использование менее дорогих средств секционирования, которые бы могли выполнять функции автоматического секционирования.

Одним из таких устройств является разъединитель РЛКВ-С-10 с приводом ПДЖ-01 УХЛ1 (рис. 1).



*Рис.1. Разъединитель РЛКВ-С-10, установленный на опоре воздушной линии*

Такие разъединители, оснащенные дугогасительной системой, предназначены для включения и отключения обесточенных участков электрической цепи, находящихся под напряжением, заземления отключенных участков при помощи заземлителей (при их наличии), составляющих единое целое с разъединителями, а также для отключения токов нагрузки до 50 А, токов холостого хода трансформаторов и зарядных токов воздушных (ВЛ) и кабельных линий (КЛ) до 10 А. Основные технические параметры разъединителей типа РЛК приведены в каталоге [2].

Управление разъединителем может осуществляться как ручным приводом, так и двигательным приводом типа ПДЖ-1 УХЛ1 [2]. Применение двигательного привода позволяет управлять разъединителем дистанционно. А возможность его комплектации простейшими видами защиты и диагностики, в свою очередь, позволяет реализовать автоматизированный режим управления сетью. Это значительно экономит время на поиск и локализацию повреждений, что улучшает надежность электроснабжения потребителей.

Рассмотрим возможность использования разъединителя РЛКВ-С-10 для секционирования электрической сети, представленной на рисунке 2.

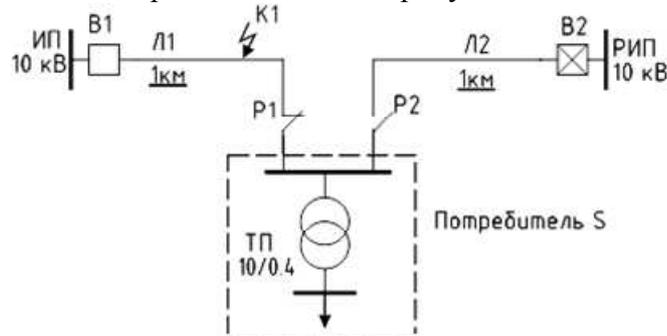


Рис.2. Фрагмент электрической сети

В данном фрагменте сети потребитель S питается от основного источника питания ИП по линии Л1. Для повышения надежности электроснабжения потребителя предусмотрен резервный источник питания (РИП). В нормальном режиме выключатель В1 и разъединитель Р1 находятся во включенном положении, а В2 и Р2 – в выключенном.

При возникновении КЗ на линии Л1 отключается выключатель В1. В случае использования обычных разъединителей с ручным приводом для возобновления электроснабжения потребителя S и устранения повреждения на соответствующий участок ЭС направляется ОВБ, которая отключает разъединитель Р1, включает разъединитель Р2 и выключатель В2, тем самым возобновляя электроснабжение потребителя от РИП. После чего происходит поиск, устранение повреждения на линии и возвращение схемы электрической сети к нормальному режиму работы. Длительность простоя ЭС в таких случаях составляет от 1,5 до 6 часов [3].

При использовании вместо Р1 и Р2 разъединителей марки РЛКВ-С-10 с приводом ПДЖ-01 УХЛ1 после отключения КЗ диспетчеру достаточно дистанционно отключить сначала секционирующий разъединитель СР1, а затем включить СР2 и выключатель В2, после чего возобновляется электроснабжение потребителя (рис. 3).

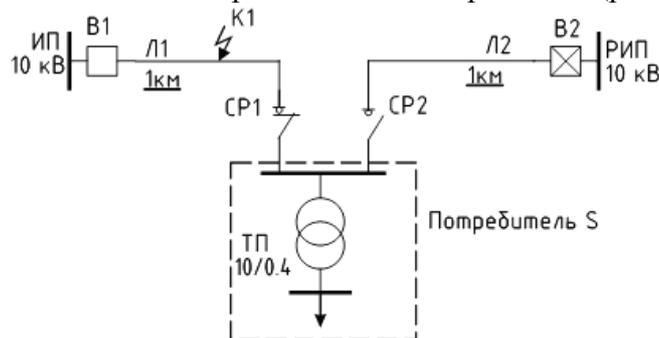


Рис.3. Фрагмент электрической сети с применением разъединителя РЛКВ-С-10 с приводом ПДЖ-01 УХЛ1

Такая процедура занимает 10-15 минут, что позволяет значительно снизить недоотпуск ЭЭ и расходы на возобновление электроснабжения.

Мерой надежности системы электроснабжения в обоих случаях будем считать количество недоотпущенной ЭЭ. Ожидаемый недоотпуск потребителю соответствует произведению средней величины нагрузки на эквивалентную продолжительность простоя за период времени [3].

$$\Delta W = \bar{P} \cdot \Theta_3, \quad (1)$$

где  $\bar{P}$  – средняя величина нагрузки потребителя, кВт;

$\Theta_3$  – эквивалентная продолжительность простоя за год, ч/год.

Эквивалентная продолжительность простоя потребителя за год определяется [3]:

$$\Theta_{\text{э}} = \omega \cdot \tau + \xi \cdot \nu \cdot \eta, \quad (2)$$

где  $\omega$  – суммарная частота отказов потребителей, год<sup>-1</sup>;

$\tau$  – среднее время восстановления электроснабжения потребителям, ч;

$\nu$  – суммарная частота преднамеренных отключений, год<sup>-1</sup>;

$\eta_i$  – среднее время обслуживания элементов при плановых ремонтах, ч;

$\xi = 0,33$  – коэффициент, отражающий меньшую тяжесть преднамеренных отключений по сравнению с внезапными отказами.

Для сравнения приведенных выше вариантов необходимо определить затраты на включение резервного источника питания  $Z_{РИП}$ . Эти затраты состоят из двух основных составляющих:

$$Z_{РИП} = Z_{доств} + Z_{пер}, \quad (3)$$

где  $Z_{доств}$  – затраты на транспортировку оперативной бригады на место проведения переключений и обратно;

$Z_{пер}$  – затраты на проведение переключений работниками ОВБ.

Затраты на транспортировку ОВБ к месту работы состоят из следующих частей [4]:

- заработная плата работников бригады;

- зарплата работника, занятого в управлении автотранспортом;

- затраты на эксплуатацию транспортного средства, которое транспортирует бригаду к месту проведения работ.

Затраты на заработную плату работников определяются по формуле:

$$Z_{ЗП} = \frac{l}{v_{cp}} \cdot C_i, \quad (4)$$

где  $l$  – расстояние от ремонтного предприятия до энергообъекта и обратно, км;

$v_{cp}$  – средняя скорость передвижения автотранспорта при доставке бригады, км/ч;

$C_i$  – почасовая ставка работника ремонтного предприятия.

Затраты на эксплуатацию автотранспорта рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{эк}} = C_m + Z_{ГСМ} + Z_{II}, \quad (5)$$

где  $C_m$  – стоимость потраченных машино-часов, грн;

$Z_{ГСМ}$  – затраты на горюче-смазочные материалы, грн;

$Z_{II}$  – затраты на эксплуатацию шин, грн;

Стоимость потраченных машино-часов определяют по формуле:

$$C_m = C \cdot M, \quad (6)$$

где  $C$  – стоимость одного машино-часа, грн/маш·ч (стоимость одного машино-часа также включает в себя заработную плату работника, занятого в управлении автотранспортом).

$M$  – количество машино-часов, потраченных на доставку ОВБ на место проведения работ.

Затраты на горюче-смазочные материалы:

$$Z_{ГСМ} = H_p \cdot l, \quad (7)$$

где  $H_p$  – норма расхода горюче-смазочных материалов л/100 км;

Затраты на эксплуатацию шин:

$$Z_{II} = H_{II} \cdot t_{np}, \quad (8)$$

где  $H_{II}$  – норма износа шин автотранспорта, грн/ч;

$t_{np}$  – время, затрачиваемое на доставку ОВБ на место проведения работ, ч.

Время, затрачиваемое на проведение переключений работниками ОВБ, составляет 0,4 часа и определяется по формуле [3]:

$$Z_{пер} = T \cdot C_i, \quad (9)$$

где  $T$  – продолжительность проведения переключений, ч.

Результаты сравнения двух вариантов:

- вариант 1 – применение обычных разъединителей с ручным приводом для возобновления электроснабжения (рис. 2);
- вариант 2 – использование автоматизированных разъединителей типа РЛКВ-С-10 с приводом ПДЖ-01 УХЛ1 (рис. 3);

Это показывает, что использование РЛКВ-С-10 с приводом ПДЖ-01 УХЛ1 является более эффективным, чем ручное секционирование (табл. 1).

Таблица 1

*Значения технико-экономических параметров сравниваемых вариантов*

Параметры	Значение параметров для вариантов	
	вариант 1	вариант 2
Эквивалентная продолжительность простоя, ч/год	1,25	0,0625
Среднее время восстановления питания, ч	1,5-6	0,2-0,25
Затраты на заработную плату ОВБ, грн	58,05-232,2	0
Затраты на проезд ОВБ до места проведения работ, грн на 10 км	41,42	0

Срок окупаемости  $T_{ок}$  секционирующих разъединителей СР1 и СР2 зависит от мощности потребителя и длины линии, по которой питается потребитель. Он может быть определен как отношение капиталовложений к прибыли.

$$T_{ок} = \frac{K}{E}, \quad (10)$$

где  $E$  – эффект (годовая прибыль), грн/год;

$K$  – капиталовложения, грн.

Капиталовложения состоят из затрат на самоустройство, а также его монтаж и пусконаладочные работы. Годовой эффект от использования РЛКВ-С-10 для секционирования может быть рассчитан по формуле:

$$E = Z_{ршт} + V + Ш_n, \quad (11)$$

где  $V$  – ущерб, нанесенный потребителю вследствие недоотпуска ЭЭ, в расчетах будем принимать самый благоприятный вариант, при котором ущерб от недоотпуска ЭЭ равен нулю, так как в противном случае срок окупаемости будет снижаться;

$Ш_n$  – штраф за недоотпуск ЭЭ потребителю.

Согласно правилам пользования электрической энергией штраф за недоотпуск ЭЭ взимается с энергоснабжающей компании в размере двукратной стоимости недоотпущенной потребителю электрической энергии [5]. Поэтому

$$Ш_n = 2 \cdot \Delta W_0 \cdot C_1 \cdot l_{линии}, \quad (12)$$

где  $\Delta W_0$  – ожидаемый недоотпуск потребителю, приведенный к одному км линии, кВт\*ч;

$C_1$  – цена одного кВт\*ч, грн/ кВт\*ч;

$l_{линии}$  – длина линии, которая связывает потребителя и источник питания, км.

Цена одного кВт\*ч в расчетах была взята из официального сайта национальной комиссии по регулированию энергетики для второго класса потребителей от 23.09.2011 [6].

Используя вышеизложенное, можно определить зависимости срока окупаемости от средней мощности потребителя для различных длин линии. Такие зависимости представлены на рисунке 4.

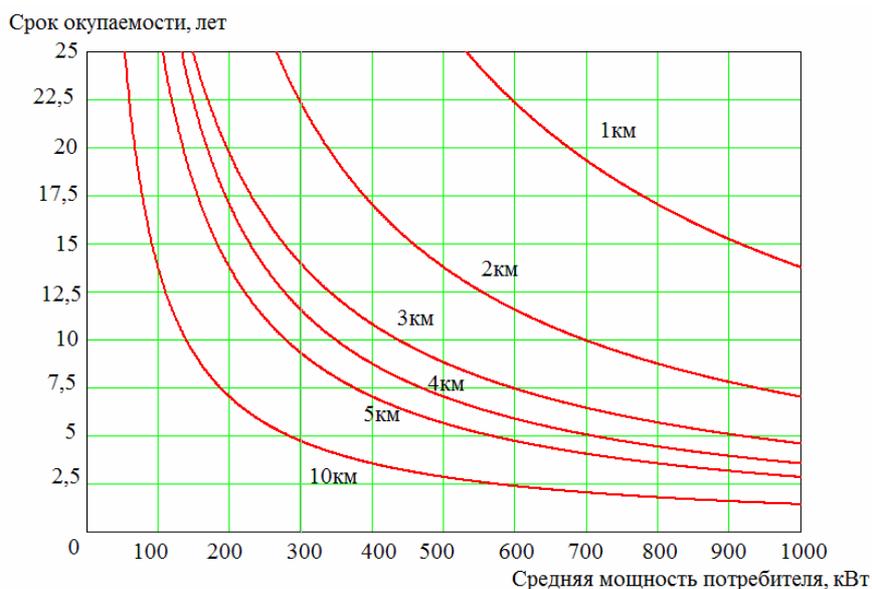


Рис.4. Залежність строку окупаемости от средней мощности потребителя для разных длин питающей линии

Из полученных зависимостей можно увидеть, что наиболее эффективным будет использование разъединителя РЛКВ-С-10 для секционирования линий 10 кВ протяженностью более 5 км и средней мощностью потребителей, подключенных к этой линии, более 300 кВт. При увеличении длины питающей линии и мощности потребителей, подключенных к этой линии, срок окупаемости уменьшается до нескольких лет.

#### Выводы

Использование разъединителя РЛКВ-С-10 с приводом ПДЖ-01 УХЛ1 для секционирования линий 10 кВ позволяет:

- значительно уменьшить недоотпуск ЭЭ потребителям за счет уменьшения эквивалентной продолжительности простоя потребителя с 1,25 до 0,0625 ч/год;
- экономить средства на работе ОВБ при включении резервного источника питания;
- уменьшить время восстановления питания до нескольких минут;
- производить реконфигурацию сети при рабочих токах нагрузки до 50 А;
- дистанционно вводить резервный источник питания при отказе основного.

#### Список использованных источников

1. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей [Электронный ресурс] / Б. К. Максимов, В. В. Воротницкий. – Режим доступа: <http://www.tavrida.ru/Techno/Article.aspx?aid=607>.
2. Разъединители наружной установки на 10 кВ: каталог / Завод электротехнического оборудования. – Великие Луки, 2010. – 18 с.
3. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – К.: Высшая школа, 1984. – 192 с.
4. ГНД 34.05.102-2003 Порядок визначення вартості ремонту і технічного обслуговування електричних мереж. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2004. – 22 с.
5. Правила користування електричною енергією. – К.: ДП «НТУКЦ», 2005. – 121 с.
6. Національна комісія з регулювання енергетики. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/>.