

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 0,4 КВ С  
ОТПАЙКАМИ ОТ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ЗА СЧЁТ  
ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИКОНТАКТНОЙ КОММУТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МКС-2-3В  
Виноградов А.В., Виноградова А.В., Псарев А.И., Лансберг А.А., Большев В.Е.**

**Реферат.** Исследования проводили с целью повышения эффективности защиты линий электропередачи (ЛЭП) 0,4 кВ с отпайками от однофазных коротких замыканий путем использования мультиконтактной коммутационной системы МКС-2-3В. Обеспечить необходимую чувствительность защиты от таких замыканий при повышенной длине ЛЭП и сечении провода, не обеспечивающем необходимое сопротивление петли фаза-нуль, бывает невозможно. Решить эту проблему помогает секционирование линии, при котором ЛЭП делится на участки, защищаемые каждый своим коммутационным аппаратом. При этом уставки защитных аппаратов, устанавливаемых в начале ЛЭП и в секционирующем пункте (СП), отличаются, обеспечивая необходимую селективность их работы. В то же время многие ЛЭП имеют протяжённые отпайки. Выбор места установки СП в таких линиях затруднен, так как короткое замыкание или другое повреждение может возникнуть, как на магистральном участке, так и на отпайке. При установке СП как до отпайки, так и за ней возможны случаи, необоснованной потери питания потребителями. Поэтому необходима разработка устройств, позволяющих секционировать ЛЭП в точке отпайки при обеспечении возможности отключения как магистрального участка, так и непосредственно отпайки. К числу таких устройств относится мультиконтактная коммутационная система, имеющая две независимые контактные группы и три вывода (МКС-2-3В). Ее установка в точке отпайки повышает защищённость ЛЭП от коротких замыканий, в том числе и однофазных, а также повышает надёжность электроснабжения потребителей, так как при повреждениях в ЛЭП отключается только повреждённый участок. Особенность выбора уставок срабатывания коммутационных аппаратов, устанавливаемых в МКС-2-3В для защиты коммутируемых участков ЛЭП, заключается в необходимости учёта параметров магистрального участка и отпайки.

**Ключевые слова:** электроснабжение, линии электропередачи, секционирование линий электропередачи, чувствительность защитных аппаратов, мультиконтактная коммутационная система.

**Введение.** Рекомендованная (0,5 км) [1] протяженность ЛЭП 0,4 кВ часто не соблюдается. В среднем она составляет 0,9...1,2 км, но порой превышает и 3 км [2]. В комплексе с недостаточно большим сечением провода это приводит к высоким значениям сопротивления петли фаза-нуль и, следовательно, к маленьким значениям однофазных токов короткого замыкания (ОКЗ). В итоге они могут быть близкими, а иногда и меньше токов нагрузки, что приводит к невозможности обеспечить необходимую чувствительность защитных аппаратов. Это, в свою очередь, повышает вероятность поражения людей электрическим током, увеличивает риск пожаров. С другой стороны, при соблюдении условия чувствительности на всей длине ЛЭП может снижаться ее пропускная способность, которую ограничивает возможность обеспечения чувствительности защитного коммутационного аппарата в начале ЛЭП. При этом частота отказов в электрических сетях 0,4 кВ может достигать 100 отказов на 100 км в год [3, 4], что делает актуальным совершенствование защит ЛЭП, в том числе 0,4 кВ, от аварийных режимов.

Для решения этой задачи применяют различные устройства, работающие на принципах максимальной токовой защиты с селективностью по времени, значению тока уставки, дифференциальной защиты и других [5, 6, 7]. В работах [8, 9, 10] отражены особенности выполнения защит сельских электрических сетей, в том числе 0,4 кВ. Однако, как в зарубежных, так и отечественных источниках не рассмотре-

на и не решена задача совершенствования защиты ЛЭП 0,4 кВ с отпайками от ОКЗ.

Отчасти решить проблему защиты длинных ЛЭП можно путем секционирования линии. Защитный аппарат, устанавливаемый в ЛЭП, находится ближе к точке ОКЗ и может иметь меньшую уставку, чем у защитного аппарата в начале ЛЭП. Известен [11] способ защиты длинных ЛЭП путем установки в них автоматического выключателя. Этот способ имеет недостаток, связанный с невозможностью автоматизации устанавливаемого в линию выключателя, что ограничивает его применение. Кроме того, предлагается секционировать ЛЭП 0,4 кВ с помощью автоматизированных секционирующих пунктов (СП) и универсальных секционирующих пунктов с функцией автоматического включения резерва (АВР) – СПАВР [12]. Однако это решение также не лишено недостатков, так как установка СП и СПАВР в ЛЭП определяется требованиями как к чувствительности защиты, так и к надёжности, а при использовании СП и СПАВР для ЛЭП с отпайками могут быть ситуации, связанные с необоснованным отключением части потребителей.

Цель исследований – разработка решений по повышению эффективности защиты линий электропередачи 0,4 кВ с отпайками от однофазных коротких замыканий.

**Условия, материалы и методы исследований.** Применение СП и СПАВР позволяет повысить уровень защищённости ЛЭП 0,4 кВ от ОКЗ. При установке СП до отпайки в ЛЭП (рис. 1а) в случае короткого замыкания как на

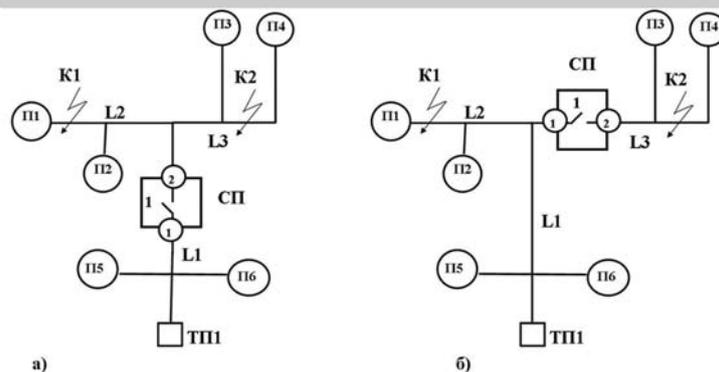


Рисунок 1 – Варианты установки СП в ЛЭП с отпайками: П1-П6 – потребители; ТПП – трансформаторная подстанция (ТП); СП – секционирующий пункт; L1-L3 – участки ЛЭП

участке L2, так и на участке L3 СП отключится, из-за чего потеряют питание потребители на обоих участках. При установке СП за отпайкой (рис. 1б), при коротком замыкании на участке L2 могут быть две ситуации. При первой отключится защитный коммутационный аппарат (ЗКА) в начале ЛЭП, из-за чего потеряют питание все потребители, во второй – ЗКА не сработает ввиду недостаточной чувствительности к токам короткого замыкания. Поэтому оба варианта имеют недостатки с точки зрения надёжности электроснабжения потребителей. Поэтому необходима разработка устройств, позволяющих секционировать такие ЛЭП в точке отпайки с возможностью отключения как магистрального участка, так и непосредственно отпайки.

Для секционирования и резервирования с возможностью коммутации нескольких участков ЛЭП используют мультиконтактные коммутационные системы (МКС). Например, мультиконтактная коммутационная система МКС-2-3В, которая имеет две контактные группы с независимым управлением и три вывода. Ее структурная схема (рис. 2) содержит выключатели нагрузки (ВН1, ВН4, ВН5), устанавливаемые на выводах устройства и осуществляющие

ручную коммутацию силовых сетей МКС-2-3В; вакуумные контакторы (ВК2 и ВК3), предназначенные для автоматической и дистанционной коммутации участков ЛЭП; блоки управления вакуумными контакторами (БУВК6, БУВК7), предназначенные для включения и отключения ВК2 и ВК3; микроконтроллерный блок управления МКС-2-3В (МБУМКС-2-3В 8), выполняющий измерение тока и напряжения в силовых сетях МКС, контроль положения коммутационных аппаратов, осуществляющий измерение потребляемой электроэнергии по коммутируемому участку ЛЭП, реализующий алгоритмы управления ВК2 и ВК3, а также хранение и обработку данных о режимах работы участков сети; блок приема и передачи данных (БППД 9); блок питания (БП 10), питающий МБУМКС-2-3В 8 и БППД9, в том числе при отключениях напряжения в силовых сетях.

Вакуумные контакторы, применяемые в МКС-2-3В, должны иметь способность коммутировать токи короткого замыкания (например, LSM-TEL производства компании ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК [13]). Их использование позволяет осуществлять защиту коммутируемых участков ЛЭП, задавая уставки отключения контакторов с помощью МБУ МКС-2-3В.

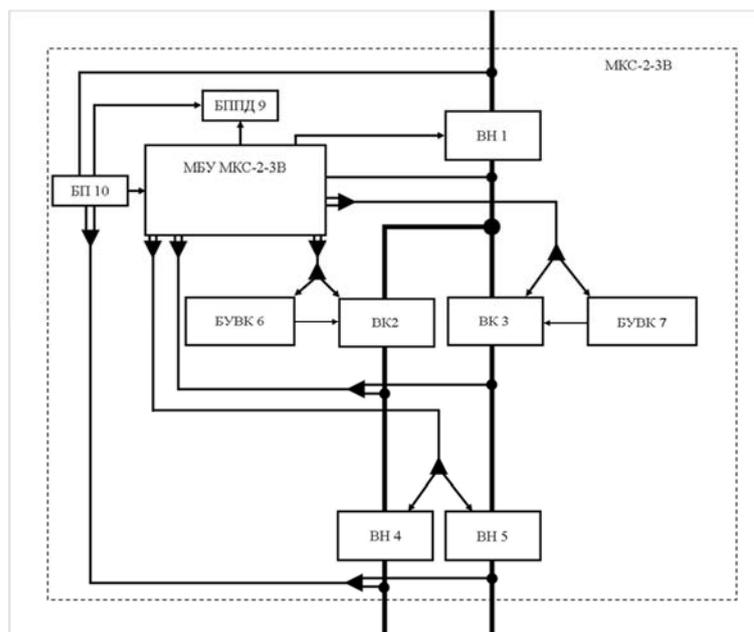


Рисунок 2 – Структурная схема МКС-2-3В.

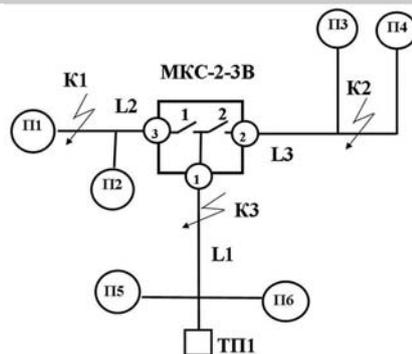


Рисунок 3 – Схема включения МКС-2-3В в ЛЭП с отпайкой.

При включении МКС-2-3В в ЛЭП с отпайкой (рисунок 3) в случае аварийных режимов на участках Л2, Л3, (точки К1, К2), в отличие от ситуаций с СП (см. рисунок 1 а и б), не произойдет необоснованного отключения потребителей, получающих питание от других участков ЛЭП.

Для выбора уставок ЗКА в начале линии и уставок отключения ВК в МКС-2-3В необходимо определить токи нагрузки по участкам ЛЭП и токи однофазного короткого замыкания в конце соответствующих участков (в точках К1, К2, К3). ЗКА, установленный в ТП1 для защиты ЛЭП должен соответствовать требованиям чувствительности к ОКЗ. Чаще всего с этой целью используют предохранители и автоматические выключатели, которые должны отвечать установленным нормативным требованиям чувствительности [14, 15].

Так, в [14] приведены требования по выполнению следующего условия кратности тока однофазного короткого замыкания ( $I_{к^{(1)}}$ ) и тока вставки ( $I_{вст}$ ) или уст авки ( $I_{уст}$ ):

для предохранителей:

$$I_{к^{(1)}}/I_{вст} \geq 3; \quad (1)$$

для комбинированного и теплового расцепителя автомата;

$$I_{к^{(1)}}/I_{уст.к(тp)} \geq 3; \quad (2)$$

для автомат только с электромагнитным расцепителем;

$$I_{к^{(1)}}/I_{уст.эм} \geq 1.1 \cdot K_{разбр} \cdot N, \quad (3)$$

где  $K_{разбр}$  – коэффициент разброса срабатывания уставки (по заводским характеристикам, или 1,4);

$N$  – кратность тока электромагнитного (ЭМ) расцепителя – отношение уставки ЭМ и номинального тока автомата ( $I_{эм}/I_{ном.авт}$ ),  $N=5$  (характеристика В), 10 (С), 20 (D) или из паспорта автоматического выключателя.

Ток ЗКА по условию чувствительности  $I_{усл.чув}$  определяется в зависимости от необходимого условия чувствительности защитного аппарата. Например, для выполнения условий, приведённых в выражениях 1 и 2,  $I_{усл.чув}$  можно определить:

$$I_{усл.чув} = 3 \cdot I_{откл}, \quad (4)$$

где  $I_{откл}$  – ток уставки автоматического выключателя, или вставки предохранителя, А.

Для выполнения условия, приведённого в выражении 3:

$$I_{усл.чув} = I_{откл} \cdot 1.1 \cdot K_{разбр} \cdot N. \quad (5)$$

Для выполнения условий пункта 1.7.79 ПУЭ [15]  $I_{усл.чув}$  определяется по время-токовым ха-

рактеристикам защитного аппарата (автоматического выключателя или предохранителя).

Ток ОКЗ в сельских электрических сетях можно рассчитать по формуле [9, 10]:

$$I_{кз}^1 = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{нфN}}, \quad (6)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение, В;  
 $Z_T$  – полное сопротивление трансформатора, выбирается из справочной литературы, Ом;

$Z_{нфN}$  – сопротивление петли фаза-нуль, Ом.

$Z_{нфN}$  – определяется из выражения:

$$Z_{нфN} = \sqrt{(R_{0\phi} \cdot L + R_{0N} \cdot L)^2 + (X_{0нфN} \cdot 2 \cdot L)^2}, \quad (7)$$

где  $R_{0\phi}$  – удельное активное сопротивление фазного провода, Ом/км;

$L$  – длина ЛЭП до рассматриваемой точки ОКЗ, км;

$R_{0N}$  – удельное активное сопротивление нулевого провода, Ом/км;

$X_{0нфN}$  – удельное индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом/км.

С учётом этого, можно рассчитать максимально возможный ток по условию чувствительности для каждого из коммутационных аппаратов, устанавливаемых в МКС-2-3В и в начале линии:

$$I_{усл.чув.макс} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + L \cdot \sqrt{R_{0\phi}^2 + 2 \cdot R_{0\phi} \cdot R_{0N} + R_{0N}^2 + 4X_{0нфN}^2}}. \quad (8)$$

Из значения  $I_{усл.чув.макс}$  и условий обеспечения чувствительности, например, (1), (2), (3), вычисляется максимальный ток уставки, который можно использовать в аппарате для защиты отходящей линии. Например, при  $I_{усл.чув.макс} = 300$  А, с учётом условия выражения 2, максимальный ток уставки автоматического выключателя должен быть не более 100 А. Значит, и ток нагрузки на защищаемом участке ЛЭП не должен превышать 100 А. Эта величина, наряду с допустимым током по нагреву, ограничивает пропускную способность ЛЭП. Значение тока уставки по условию чувствительности при протяжённых ЛЭП значительно меньше допустимого тока по нагреву. Таким образом, сечение ЛЭП используется неэффективно.

В [12] приведено выражение для определения максимального расстояния, на котором обеспечивается чувствительность защитного аппарата:

$$L_{\max \text{ чув.}} = \frac{U_{\phi} - Z_T}{I_{\text{усл.чув.}} \cdot 3} \cdot \sqrt{R_{0\phi}^2 + 2 \cdot R_{0\phi} \cdot R_{0N} + R_{0N}^2 + 4X_{0н\phi N}^2} \cdot (9)$$

В выражениях (8) и (9) введены упрощения, в частности, не учтены сопротивления контактов коммутационных аппаратов, сопротивления в местах соединения проводов и некоторые другие составляющие, учесть которые объективно достаточно сложно. Однако результаты расчётов с их использованием в большинстве случаев отличаются от результатов с учётом сделанных допущений не более, чем на 5 %.

Выражение (9) можно использовать, если определён ток  $I_{\text{усл.чув.}}$ . В случае применения СП или СПАВР по этой формуле определяется место его установки в ЛЭП [12]. При установке устройств МКС-2-3В на существующую ЛЭП она пригодна только для проверки защищённости участка ЛЭП до МКС-2-3В защитным аппаратом, установленным на ТП. Это связано с тем, что расстояние до отпайки в существующей ЛЭП не может быть изменено. При выполнении расчётов по приведённой методике сопротивления проводов принимали согласно [16], условие чувствительности – трёхкратное превышение значения тока однофазного короткого замыкания над значением тока уставки [14]. Расчёты проводили при заданной мощности трансформатора 160 кВА, что соответствует среднестатистическому значению для сельской электрической сети 0,4 кВ согласно [2].

**Анализ и обсуждение результатов исследований.** Расчет максимального расстояния до точки однофазного короткого замыкания, при котором обеспечивается чувствительность автоматических выключателей, в зависимости от сечения провода показал, что с возрастанием тока уставки максимально допустимое расстоя-

ние от ТП до СП снижается, а с увеличением сечения провода оно растёт (см. табл.). Рассчитанными показателями можно пользоваться для проверки защищённости участка ЛЭП. Например, в строке 1 значение тока отключения  $I_{\text{откл}}$  составляет 16 А, фазное напряжение 220В, ток по условию чувствительности  $I_{\text{усл.чув.}} = 48$  А. При таких величинах максимальное расстояние до точки короткого замыкания, на котором будет обеспечена чувствительность ЗКА, при использовании провода СИП2 3х35+1х50 составит 2,64 км, СИП2 3х50+1х50 – 2,95 км, СИП2 3х95+1х95 – 4,43 км. Аналогично по другим строкам, где указаны токи отключения и результаты расчёта расстояний.

Также таблицу можно использовать для определения максимального тока отключения ЗКА. Предположим, что длина участка L1 (см. рис. 3) составляет 500 м. В таблице полужирным шрифтом выделены значения максимального расстояния, не меньшие L1 при разных сечениях проводов. Например, при сечении провода СИП 3х35+1х50 ток отключения (уставки автоматического выключателя) в начале ЛЭП не должен превышать 80А, при сечении 3х95+1х95 – 125 А.

Максимальные уставки МКС-2-3В для защиты участков L2 и L3 (см. рисунок 3) можно определить, если известны суммы их длин с длиной участка L1, при принятии для применяемых в МКС-2-3В коммутационных аппаратов тех же условий чувствительности защиты. Предположим, что L2=0,5 км, L3=0,6 км. Тогда L1 + L2 = 1 км; L1 + L3 = 1,1 км. Значит, в МКС -2-3В для защиты участка L2, согласно данным таблицы, при сечении провода 3х35+1х50 должна устанавливаться уставка не более 40 А, а при сечении 3х95+1х95 – 63 А, для участка L3 – соответственно 32А и 63А. В МКС-2-3В применяется микроконтроллерный блок управления, выполняющий, в том числе, функции распознавания токов короткого замыкания не только по их значению, но и по другим характеристикам, например, по скорости нарастания. Благодаря этому можно увеличить задаваемое зна-

Таблица – Результаты расчёта максимального расстояния до точки короткого замыкания по условию чувствительности

№ п/п	I <sub>откл.</sub> , А	U <sub>ф</sub> , В	I <sub>усл.чув.</sub> , А	L <sub>max</sub> , км					
				СИП2 3х35+1х50	СИП2 3х50+1х50	СИП2 3х50+1х70	СИП2 3х70+1х70	СИП2 3х70+1х95	СИП2 3х95+1х95
1	16	220	48	2,64	2,95	3,29	3,71	4,02	4,43
2	25	220	75	1,69	1,89	2,10	2,37	2,57	2,83
3	32	220	96	1,32	1,47	1,64	1,85	2,00	2,21
4	40	220	120	1,05	1,18	1,31	1,48	1,60	1,76
5	50	220	150	0,84	0,94	1,04	1,18	1,28	1,41
6	63	220	189	0,66	0,74	0,83	0,93	1,01	1,11
7	<b>80</b>	220	240	<b>0,52</b>	<b>0,58</b>	0,65	0,73	0,79	0,87
8	100	220	300	0,41	0,46	<b>0,52</b>	<b>0,58</b>	0,63	0,70
9	<b>125</b>	220	375	0,33	0,37	0,41	0,46	<b>0,50</b>	<b>0,55</b>
10	160	220	480	0,25	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43
11	200	220	600	0,20	0,23	0,25	0,29	0,31	0,34
12	250	220	750	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27
13	320	220	960	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21

чение тока отключения вакуумных контакторов МКС-2-3В при ОКЗ.

При отсутствии МКС-2-3В в схеме электропитания (см. рис. 3), максимальный ток отключения (уставки, вставки) в начале ЛЭП с учётом протяжённости ЛЭП по наиболее длинной отпайке ( $L_2 + L_3 = 1,1$  км) при сечении провода  $3 \times 95 + 1 \times 95$  не должен был превышать 63 А, при сечении  $3 \times 35 + 1 \times 50 - 32$  А.

**Выводы.** Разработана мультиконтактная коммутационная система с двумя независимыми контактными группами и тремя выводами МКС-2-3В. Она устанавливается в точке отпайки и обеспечивает коммутацию и защиту двух участков ЛЭП – магистрального участка и отпайки. В этом случае защитный коммутационный аппарат, установленный в начале ЛЭП защищает её на участке до МКС-2-3В, а защитные аппараты в МКС-2-3В защищают коммутируемые данным устройством участки ЛЭП.

Благодаря этому появляется возможность повысить чувствительность защитных коммутационных аппаратов, устанавливаемых в начале ЛЭП, и обеспечить ее эффективную защиту на всей длине. Одновременно достигается увеличение пропускной способности ЛЭП. Таким образом, применение МКС-2-3В позволяет повысить эффективность защиты ЛЭП 0,4 кВ с отпайками от однофазных коротких замыканий. Предложена методика расчёта и рассчитаны максимальные расстояния от защитного коммутационного аппарата до точки однофазного короткого замыкания, на котором обеспечивается его чувствительность. Полученные результаты могут использоваться для определения максимального удаления МКС-2-3В от трансформаторной подстанции и максимально допустимых уставок защитных коммутационных аппаратов при известных длинах ЛЭП, сечениях провода и мощности трансформатора.

#### Литература

1. Шаповалов, И. Ф. Справочник по расчету электрических сетей [Электронный ресурс]. URL: <http://dfiles.ru/files/axhrzaw0v> (дата обращения: 10.05.2020 г.).
2. Большев В.Е., Виноградов А.В. Конфигурация среднестатистической сельской электрической сети 0,38 кВ // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1 (30). С. 117-124.
3. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. – М.: ОАО «Россети», 2013. – 196 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200106979>. (Дата обращения 14.05.2020 г.).
4. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» Утверждено Советом Директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 № 252) [Электронный ресурс]. URL: <file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%A1%D0%A2%D0%9E%2034.01-5.1-008-2018.pdf> (Дата обращения 14.05.2020г.).
5. Protection of Lines or Feeder/ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.electrical4u.com/protection-of-lines-or-feeder/> (дата обращения 20.05.2020 г.).
6. Power system protection lecture note by Dr R.K.Jena. [Электронный ресурс]. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/dcc3/be05fd239aefbbf9d5e299aa8b74153e4987.pdf> (дата обращения 20.05.2020г.).
7. Protective Relaying. Principles and Applications. Third Edition. POWER ENGINEERING. Series Editor H. Lee Willis. KEMA T&D Consulting. Raleigh, North Carolina. [Электронный ресурс]. URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KRIVOVA\\_LV/Uchebnaya/Tab/18\\_Protective\\_Relaying\\_Principles\\_and\\_Applications.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KRIVOVA_LV/Uchebnaya/Tab/18_Protective_Relaying_Principles_and_Applications.pdf) (дата обращения 20.05.2020 г.).
8. Растогуев, В.М. Защита сельских электрических сетей напряжение 0,38 кВ [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/262-zashhita-selskikh-jelektricheskikh.html> (дата обращения 20.05.2020 г.).
9. Попов Н. М. Электроснабжение. Рабочие режимы сетей 0,38...10кВ: учебное пособие. Кострома: КГСХА, 2010. 202с.
10. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник. М.: БИБКМ: ТРАНСЛОГ, 2015. 656 с.
11. Верховский Я. Л. Способ защиты длинных сельских ЛЭП-0,4 от коротких замыканий // Патент РФ № RU 2 538 091, 01.10.2015 г.
12. Методика выбора мест установки и количества универсальных секционирующих пунктов с функцией АВР в электрической сети 0,38 кВ по критерию обеспечения чувствительности защитных аппаратов / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.И. Псарёв и др. // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. №3(57). С. 38-49.
13. Низковольтный вакуумный контактор LSM-TEL [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/manuals/nizkovoltnyj-vakuumnyj-kontaktor-lsm-tel.html> (дата обращения 20.05.2020 г.).
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей утверждены приказом Министерства энергетики РФ от 13 января 2003 г. N 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://xn--j1ajbaqs.xn--p1ai/assets/files/prikaz-minenergo-rossii-ot-13.01.2003-n-6-pteep.pdf> (дата обращения 20.05.2020 г.).
15. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во ЕЦ «ЭНАС», 2013.
16. Техническое описание СИП-1, СИП-2, СИП-3, СИП-4. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/127/000001141/attfile/01.pdf> (дата обращения 20.05.2020 г.).

#### Сведения об авторах

Виноградов Александр Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией электроснабжения и теплообеспечения, e-mail: [winaleksandr@gmail.com](mailto:winaleksandr@gmail.com)  
 Виноградова Алина Васильевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории электроснабжения и теплообеспечения, e-mail: [alinawin@ Rambler.ru](mailto:alinawin@ Rambler.ru)  
 Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия  
 Псарёв Александр Иванович – старший преподаватель кафедры электроснабжение, e-mail: [alpsaryov@yandex.ru](mailto:alpsaryov@yandex.ru)  
 Лансберг Александр Александрович – студент, e-mail: [thegreatlansberg@mail.ru](mailto:thegreatlansberg@mail.ru)  
 Орловский ГАУ, Орел, Россия  
 Большев Вадим Евгеньевич – научный сотрудник лаборатории электроснабжения и теплообеспечения, e-mail: [vadimbolshev@gmail.com](mailto:vadimbolshev@gmail.com)  
 Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

**INCREASING THE PROTECTION EFFICIENCY OF 0.4 kV POWER TRANSMISSION LINES WITH  
BRANCH LINES FROM SINGLE-PHASE SHORT CIRCUITS DUE TO THE USE OF  
MULTI-CONTACT SWITCHING SYSTEM MSS-2-3**

Vinogradov A.V., Vinogradov A.V., Psarev A.I., Lansberg A.A., Bolshev V.E.

**Abstract.** The purpose of the work is to increase the protection efficiency of 0.4 kV power lines with branch lines from single-phase short circuits by means of using the multi-contact switching system MSS-2-3. It can be not possible to provide the necessary sensitivity of protecting 0.4 kV power lines against one-phase short circuits when the power line length is too high and when the wire cross section does not provide the necessary value of the phase-zero loop resistance. Power line sectionalizing helps to solve this problem. It allows dividing power lines into sections, each is protected by its protective device. The settings of the protective devices installed at the beginning of a power transmission line and at the sectioning units (SU) are different. It provides the necessary selectivity of their work. At the same time, many power transmission lines (PTL) have long branch lines. The choice of the installation site of SU in such lines is difficult since a short circuit or other damage can occur both on a trunk line section and on a branch line. When installing SU both before a branch line and behind it, there might be the cases of unjustified power supply outages. Therefore, it is necessary to develop devices allowing for sectionalizing such power lines at the installation site of SU while ensuring the possibility of disconnecting both a trunk line section and a branch line directly. Such a device is a multi-contact switching system having two independent contact groups and three outputs (MSS-2-3). Installing the MSS-2-3 at a branch line point increases the security of the power transmission line against short circuits including single-phase ones and also increases power supply reliability to consumers since only a damaged section is disconnected in case of damage to the power transmission line. The feature of choosing the settings for the operation of switching devices installed in the MKS-2-3 to protect the switched power line sections is the need to take into account the parameters of a trunk line section and a branch line.

**Key words:** power supply, power transmission line, power line sectionalizing, protective device sensitivity, multi-contact switching system, MKS-2-3.

#### References

1. Shapovalov I. F. *Spravochnik po raschetu elektricheskikh setey*. (Reference book on the calculation of electrical networks). Available at: <http://dfiles.ru/files/axrpazw0v> (date of access: 10.05.2020).
2. Bolshev V.E., Vinogradov A.V. The configuration of the average rural electrical network of 0.38 kV. [Konfiguratsiya srednestatisticheskoy selskoy elektricheskoy seti 0,38 kV]. // *Innovatsii v selskom khozyaystve. - Innovations in agriculture*. 2019. № 1 (30). P. 117-124.
3. *Polozhenie OAO "Rosseti" o edinoy tekhnicheskoy politike v elektrosetevom komplekse*. (Regulations of JSC "Rosseti" on a unified technical policy in the power grid complex). – M.: OAO "Rosseti", 2013. – P. 196. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200106979>. (date of access 14.05.2020)
4. *Polozhenie PAO "Rosseti" "O edinoy tekhnicheskoy politike v elektrosetevom komplekse". Utverzhdeno Sovetom Direktorov PAO "Rosseti" (protokol ot 22.02.2017 № 252)*. (Regulations of PJSC "Rosseti" "On a unified technical policy in the power grid complex". Approved by the Board of Directors of PJSC "Rosseti"). Available at: <file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%A1%D0%A2%D0%9E%2034.01-5.1-008-2018.pdf> (date of access 14.05.2020).
5. Protection of Lines or Feeder. Available at: <https://www.electrical4u.com/protection-of-lines-or-feeder/> (date of access 20.05.2020).
6. Power system protection lecture note by Dr R.K.Jena. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/dcc3/be05fd239aefbb9d5e299aa8b74153e4987.pdf> (date of access 20.05.2020).
7. Protective Relaying. Principles and Applications. Third Edition. POWER ENGINEERING. Series Editor H. Lee Willis. KEMA T&D Consulting, Raleigh, North Carolina. Available at: [https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KRIVOVA\\_LV/Uchebnaya/Tab/18/Protective Relaying Principles and Applications.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KRIVOVA_LV/Uchebnaya/Tab/18/Protective%20Relaying%20Principles%20and%20Applications.pdf) (date of access 20.05.2020).
8. Rastoguyev V.M. *Zashchita selskikh elektricheskikh setey napryazhenie 0.38 kV*. (Protection of rural electrical networks, voltage 0.38 kV). Available at: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/262-zashchita-selskikh-jelektricheskikh.html> (date of access 20.05.2020).
9. Popov N. M. *Elektrosnabzhenie. Rabochie rezhimy setey 0.38...10kV: uchebnoe posobie*. [Power supply. Operating modes of networks 0.38 ... 10 kV: a manual]. Kostroma: KGSKhA, 2010. P. 202.
10. Leschinskaya T.B., Naumov I.V. *Elektrosnabzhenie selskogo khozyaystva: uchebnyk*. [Power supply of agriculture: textbook]. M.: BIBKOM: TRANSLOG, 2015. P. 656.
11. Verkhovskiy Ya.L. *Sposob zashchity dlinnykh selskikh LEP-0,4 ot korotkikh zamykaniy*. (Method of protecting long rural power lines-0.4 from short circuits). // Patent RF № RU 2 538 091, 01.10.2015.
12. Methodology for the selection of installation sites and the number of universal sectioning points with the ATS function in the 0.38 kV electrical network according to the criterion of ensuring the sensitivity of protective devices. [Metodika vybora mest ustanovki i kolichstva universalnykh sektioniruyushchikh punktov s funktsiyey AVR v elektricheskoy seti 0,38 kV po kriteriyu obespecheniya chuvstvitelnosti zaschitnykh apparatov]. / A.V. Vinogradov, A.V. Vinogradova, A.I. Psarov and others. // *Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozemya. - News of Higher Educational Institutions of Chernozem region*. 2019. №3(57). P. 38-49.
13. *Nizkovoltnyy vakuurnyy kontaktor LSM-TEL*. (Low-voltage vacuum contactor LSM-TEL). Available at: <https://www.elec.ru/library/manuals/nizkovoltnyj-vakuurnyj-kontaktor-lsm-tel.html> (date of access 20.05.2020)
14. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektroustanovok potrebitel'ey utverzhdeny prikazom Ministerstva energetiki RF ot 13 yanvarya 2003 g. N 6*. (The rules of technical operation of electrical installations of consumers are approved by order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of January 13, 2003 N 6). Available at: <http://xn--j1ajbaqs.xn--plai/assets/files/prikaz-minenergo-rossii-ot-13.01.2003-n-6-pteep.pdf> (date of access 20.05.2020).
15. *Pravila ustroystva elektroustanovok. 7-e izd.* [Rules for the construction of electrical installations. 7<sup>th</sup> edition. M.: Izd-vo ETS "ENAS", 2013.
16. *Tekhnicheskoe opisanie SIP-1, SIP-2, SIP-3, SIP-4*. (Technical description of SIP-1, SIP-2, SIP-3, SIP-4). Available at: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/127/000001141/attfile/01.pdf> (date of access 20.05.2020).

#### Authors:

Vinogradov Aleksandr Vladimirovich – Ph.D. of Engineering, Head of the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, e-mail: [winaleksandr@gmail.com](mailto:winaleksandr@gmail.com)  
 Vinogradova Alina Vasilevna - Ph.D. of Engineering, Senior Researcher at the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, e-mail: [alinawin@rambler.ru](mailto:alinawin@rambler.ru)  
 Psaryov Aleksandr Ivanovich - Senior Lecturer, Department of Electric Power Supply, Orel, Orel State agrarian University, Orel, e-mail: [alpsaryov@yandex.ru](mailto:alpsaryov@yandex.ru)  
 Lansberg Aleksandr Aleksandrovich - student, Department of Electric Power Supply, Orel State agrarian University, Orel, e-mail: [thegreatlansberg@mail.ru](mailto:thegreatlansberg@mail.ru)  
 Bolshev Vadim Evgenievich - Researcher at the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, e-mail: [vadimbolshev@gmail.com](mailto:vadimbolshev@gmail.com)