



УДК 621.311

А.А. Сошников, Е.В. Титов
A.A. Soshnikov, Ye.V. Titov

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ 0,38 кВ С НИЗКИМ УРОВНЕМ АВАРИЙНЫХ ТОКОВ

EXPRESS-EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF PROTECTION IN THE NETWORKS OF 0.38 KV WITH A LOW VALUE OF EMERGENCY ELECTRIC CURRENTS

Ключевые слова: автоматический выключатель, короткое замыкание, эффективная защита, экспресс-оценка, номограмма, электрическая сеть.

Рассмотрена проблема обеспечения нормативного времени срабатывания автоматических выключателей при коротких замыканиях (КЗ) в сельских электрических сетях 0,38 кВ с низким уровнем аварийных токов. Целью исследования является определение области эффективного использования разных типов автоматических выключателей с различными номинальными токами для защиты от КЗ во внутренних сетях объектов АПК. Предложена методика оценки эффективности защиты от КЗ, в основу которой положено сопоставление зависимостей токов однофазного КЗ от параметров внешней сети электропитания с пороговым уровнем срабатывания электромагнитных расцепителей (ЭР) автоматических выключателей. Разработаны номограммы для экспресс-оценки электротехнической эффективности находящихся в эксплуатации, а также проектируемых для установки во внутренних сетях автоматических выключателей при различных параметрах внешней электрической сети. В качестве примера номограммы представлены для традиционных воздушных линий с неизолированными проводами. С помощью номограмм определяются предельные значения номинальных токов автоматических выключателей, при которых обеспечивается достижение током однофазного КЗ порогового значения тока срабатывания ЭР. Можно также определить предельные значения удаленности объекта электро-

снабжения от подстанции, при которых эффективно использование выключателей с различными номинальными токами. Номограммы позволяют без проведения расчетов оценить эффективность защиты от КЗ на объектах электропитания, а также выявить проблемные участки электрической сети для принятия мер по предупреждению опасных последствий аварийных режимов. Предложенная методика экспресс-оценки эффективности защиты в сетях 0,38 кВ может быть рекомендована для использования проектными и электромонтажными организациями, аккредитованными в области проектирования систем электропитания, а также в учебном проектировании при подготовке бакалавров и магистров электротехнического профиля.

Keywords: automatic switcher, electrical short, effective protection, express-evaluation, nomogram, electric network.

The problem of ensuring the standard operating time of automatic switcher for electrical short in rural electric networks of 0.38 kV with a low level of emergency currents is discussed. The research goal is to determine the effective use of different types of automatic switcher with different rated currents for electrical short protection in the internal networks of agricultural facilities. A method for evaluating the effectiveness of electrical short protection is proposed. It is based on a comparison of the dependences of single-phase electrical short currents on the parameters of the external power supply network with the threshold level of operation of electromagnetic

disconnectors of automatic switcher. Nomograms have been developed for express-evaluation of the electrical protection efficiency of automatic switcher that are in operation and are being designed for installation in internal networks at various parameters of the external electrical network. As an example, nomograms are presented for traditional overhead lines with non-insulated wires. Nomograms allow determining the limit values of the rated currents of automatic switcher which ensure that the single-phase electrical short current reaches the threshold value of the tripping current of the electromagnetic disconnectors. It is possible to determine the limit values of the distance of the power supply object from

the substation at which it is effective to use switches with different rated currents. Nomograms allow evaluating the effectiveness of short-circuit protection at power supply facilities without performing calculations and identify problem areas of the electrical network for taking measures to prevent dangerous consequences of emergency modes. The proposed method of express-evaluation of the protection efficiency in 0.38 kV networks may be recommended for use by design and electrical installation organizations accredited in the field of power supply systems design and in educational design when training bachelors and masters of electrical engineering.

Сошников Александр Андреевич, д.т.н., проф., каф. «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 36-71-29. E-mail: aa@soshnikov.info.

Титов Евгений Владимирович, к.т.н., доцент каф. «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 36-71-29. E-mail: 888tev888@mail.ru.

Soshnikov Aleksandr Andreyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Electrification of Production and Household, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: aa@soshnikov.info.

Titov Yevgeniy Vladimirovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Electrification of Production and Household, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: 888tev888@mail.ru.

Введение

В сельских электрических сетях 0,38 кВ по-прежнему актуальными остаются вопросы обеспечения безопасности электроснабжения из-за низкого уровня токов короткого замыкания (КЗ), что создает проблемы построения надежной защиты [1]. В большинстве случаев защита от КЗ в сетях АПК производится автоматическими выключателями, однако как показывает опыт, их эффективность остается весьма низкой даже при совместном использовании с устройствами защитного отключения, которые не реагируют на междуфазные и однофазные КЗ на нулевой рабочий провод [2-4].

В соответствии с 7-м изданием Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [5] оценка чувствительности защиты производится не по кратности аварийного тока [6, 7], а по максимально допустимому времени срабатывания, которое для внутренних радиальных сетей низкого напряжения составляет 0,4 с. Проведенные нами расчеты токов удаленных однофазных КЗ в сельских сетях показали проблематичность достиже-

ния этого показателя для всей линейки номинальных токов (16; 25; 31,5; 40; 50; 63 А), используемых на объектах АПК автоматических выключателей, особенно серии АЕ [2]. Эти выключатели имеют кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя (ЭР) по отношению к номинальному току теплового расцепителя (ТР) 12 In. В последние годы для защиты внутренних электрических сетей все большее применение находят автоматические выключатели серии ВА с характеристикой типа С, ЭР которых срабатывают в диапазоне (5...10) In. Более чувствительные выключатели с характеристикой типа В (от 3 до 5 In) практически не применяются в сельских сетях из-за необходимости повышения сечений электропроводки в сетях с электродвигателями, а также возможности ложных срабатываний в условиях непрофессиональной эксплуатации.

Ситуация усугубляется тем, что параметры большинства находящихся в эксплуатации в АПК автоматических выключателей выбирались по условиям согласования с нагрузкой и проверялись по кратности токов

КЗ в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (Энергосервис, Москва, 2003 г.) [7], действующим и в настоящее время, одновременно с [5]. Проверка по кратности, допускающая возможность срабатывания в аварийном режиме только одного из расцепителей выключателя, сводилась к условию обеспечения 3-кратного превышения током КЗ номинального тока ТР. При этом время срабатывания выключателя при удаленных КЗ существенно превышало установленный в [5] норматив 0,4 с, что нарушает требования электрической и пожарной безопасности.

Целью исследования является определение области эффективного использования разных типов автоматических выключателей с различными номинальными токами для защиты от КЗ во внутренних сетях объектов АПК.

Объекты и методы

Нормируемое время срабатывания автоматических выключателей обеспечивается, как правило, при условии достижения током КЗ порога чувствительности ЭР или существенном приближении к нему. В таблице 1 приведены пороговые значения токов срабатывания ЭР для средних значений время-токовой характеристики. Для выключателей серии ВА эти значения составляют 7,5 In для характеристики типа **С** и 4 In для характеристики типа **В**.

В основу методики оценки эффективности защиты в сетях 0,38 кВ положено сопоставление зависимостей токов однофазного КЗ от параметров внешней сети электроснабжения с пороговым уровнем срабатывания ЭР автоматических выключателей различного типа с различными значениями номинальных токов.

Экспериментальная часть

Экспресс-оценку электрозащитной эффективности находящихся в эксплуатации, а также проектируемых для установки во внутренних сетях автоматических выключателей целесообразно проводить с помощью номограмм, представленных, в качестве примера, для традиционных воздушных линий с неизолированными проводами (рис. 1-3).

Номограммы разработаны для типовых значений мощности и схем соединения обмоток силовых трансформаторов и различного исполнения внешних линий.

На номограммах (рис. 1-3) представлены зависимости токов однофазного КЗ в конце линий внутренней сети протяженностью 25 м в алюминиевом и медном исполнении для сечений проводов воздушных линий 25, 35, 50, 70, 95 мм² и мощности трансформатора на подстанции 250 кВА. Сечение жил внутренней электропроводки принято 4 мм² (как минимально допустимое).

С помощью номограмм определяются предельные значения номинальных токов автоматических выключателей, при которых обеспечивается достижение током однофазного КЗ порогового значения тока срабатывания ЭР.

Например, при удалении объекта электроснабжения на 100 м от подстанции мощностью 250 кВА при сечении проводов ВЛ 35 мм² и алюминиевой электропроводке эффективная защита обеспечивается для выключателей серии АЕ только при значении номинальных токов не более 16 А, для выключателей ВА (**С**) – не более 32 А, а для выключателей ВА (**В**) номинальный ток может достигать 63 А.

Таблица 1

Пороговые значения токов срабатывания электромагнитных расцепителей автоматических выключателей для средних значений время-токовой характеристики

Тип выключателя	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя (А)					
	для номинального тока теплового расцепителя (А)					
	16	25	32	40	50	63
АЕ	192	300	384	480	600	756
ВА (С)	120	188	240	300	375	473
ВА (В)	64	100	128	160	200	252

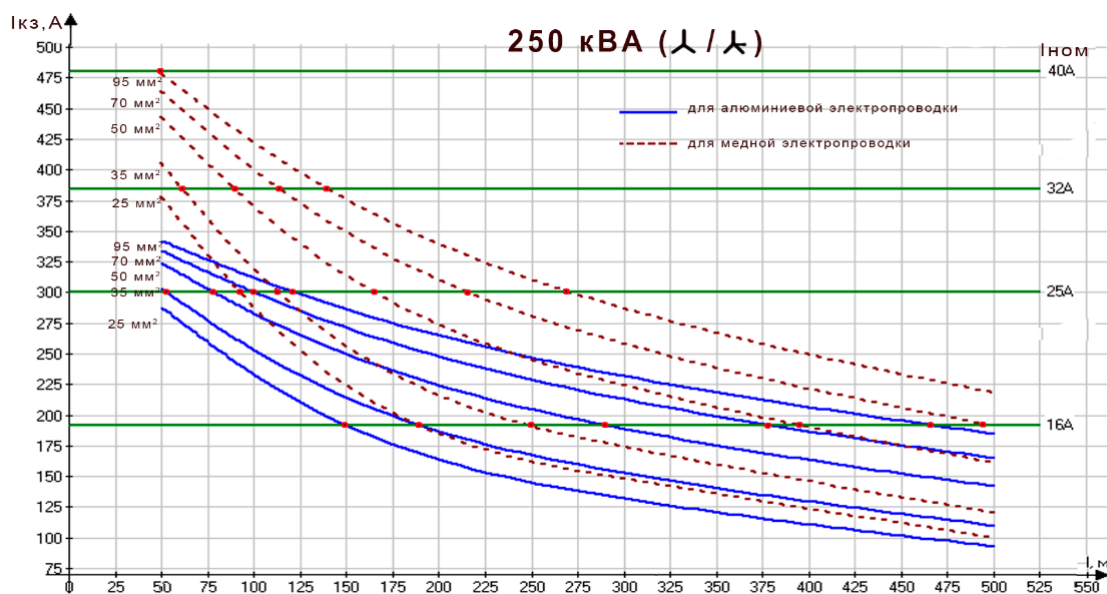


Рис. 1. Номограмма для оценки допустимых параметров автоматических выключателей серии АЕ

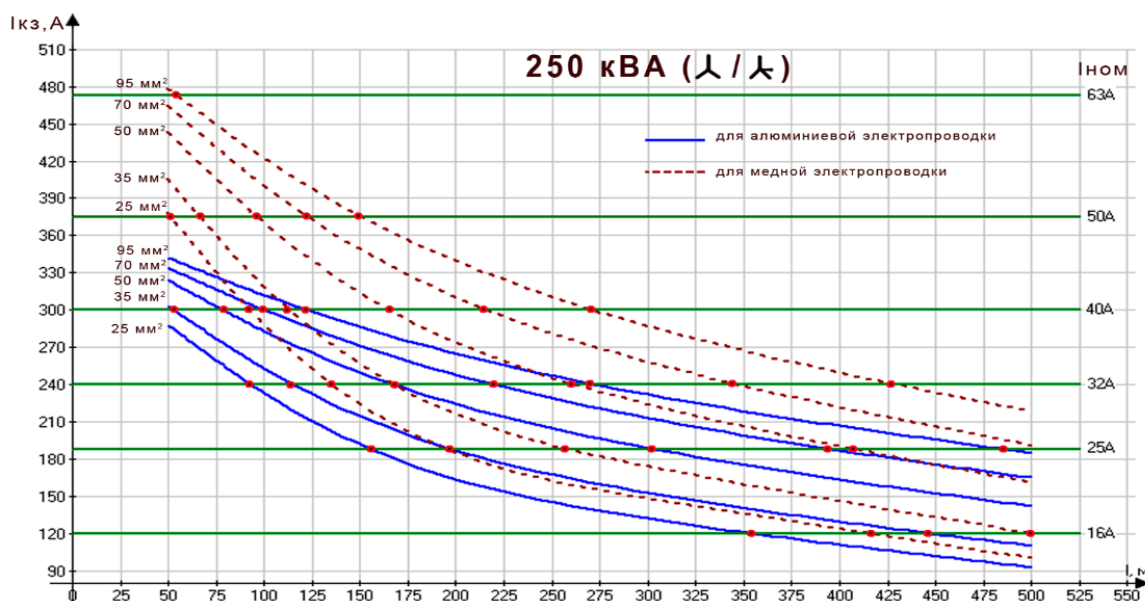


Рис. 2. Номограмма для оценки допустимых параметров автоматических выключателей серии ВА (С)

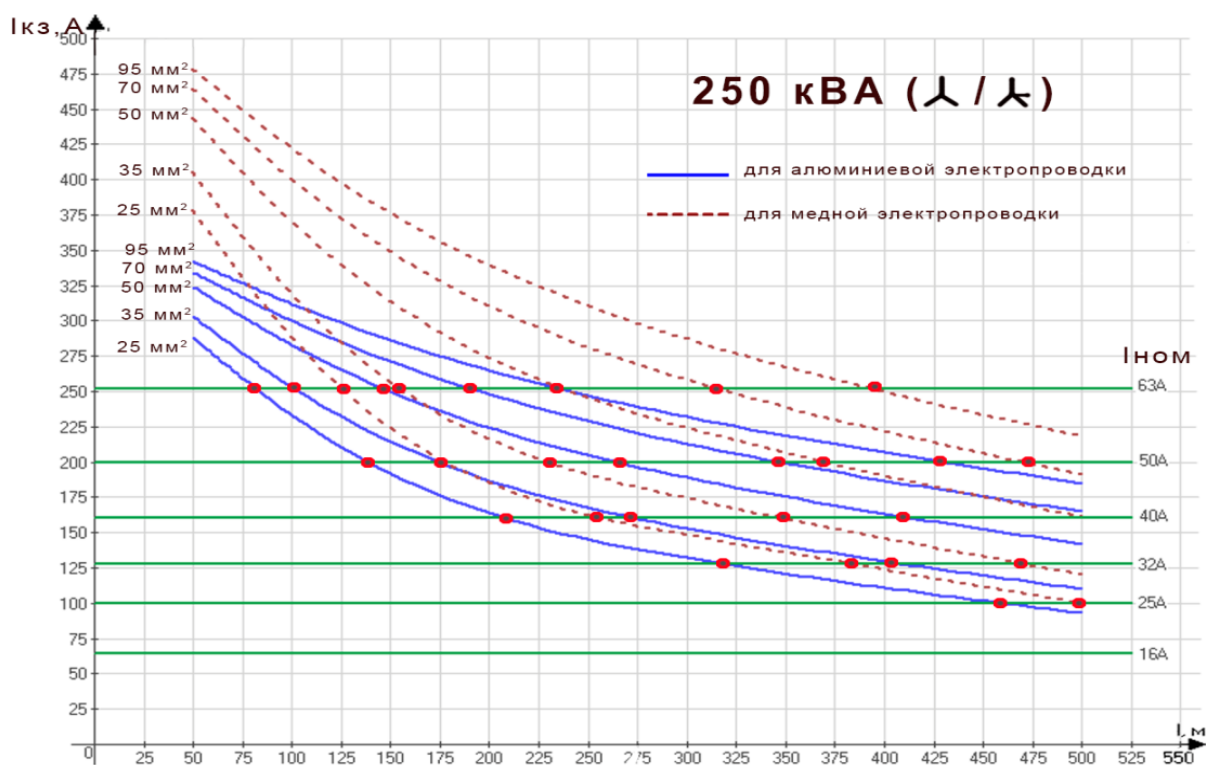


Рис. 3. Номограмма для оценки допустимых параметров автоматических выключателей серии ВА (В)

При медной проводке эти значения увеличиваются: для выключателя серии АЕ – до 25 А, а серии ВА (С) – до 40 А.

По номограммам можно также определить предельные значения удаленности объекта электроснабжения от подстанции, при которых эффективно использование выключателей с различными номинальными токами.

Например, выключатели ВА (С) с номинальным током 40 А могут использоваться при удалении объекта от подстанции до 270 м, если сечения проводов ВЛ составляет 95 мм² и используется электропроводка с медными жилами. Если электропроводка алюминиевая, то максимальное значение номинального тока выключателя составит только 32 А.

Результаты и их обсуждение

Представленные номограммы позволяют без проведения расчетов оценить эффективность защиты от КЗ на объектах электро-

снабжения, а также выявить проблемные участки электрической сети для принятия мер по предупреждению опасных последствий аварийных режимов.

Заключение

Предложенная методика экспресс-оценки эффективности защиты в сетях 0,38 кВ может быть рекомендована для использования проектными и электромонтажными организациями, аккредитованными в области проектирования систем электроснабжения, а также в учебном проектировании при подготовке бакалавров и магистров электротехнического профиля.

Библиографический список

1. Сошников, А. А. Перспективные направления улучшения функциональных показателей систем сельского электроснабжения / А. А. Сошников, Б. С. Компанец. – Текст: непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы

XIII Международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орел) / под редакцией доктора технических наук, профессора О. В. Пилипенко, доктора технических наук, профессора А. Н. Качанова, д.т.н., профессора Ю. С. Степанова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2015. – С. 50-53.

2. Сошников, А. А. Обеспечение эффективной защиты от коротких замыканий внутренних сетей объектов АПК / А. А. Сошников, О. Н. Дробязко, Б. С. Компанец, А. В. Цуканов. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 3. – С. 54-57.

3. Boron, S., Heyduk, A., Joostberens, J., Pielot, J. (2016). Empirical Model of a Human Body Resistance at a Hand-To-Hand DC Flow. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 22. 10.5755/j01.eie.22.4.15910.

4. Gierlotka S. (2011). Metody badan impedancji ciala czlowieka. *Wiadomosci elektrotechniczne*. 8: 18-20.

5. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7. – URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>. – Текст: электронный.

6. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с. – Текст: непосредственный.

7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pteep/>. – Текст: электронный.

References

1. Soshnikov, A.A. Perspektivnye napravleniya uluchsheniya funktsional'nykh pokazateley sistem selskogo elektrosnabzheniya / A.A. Soshnikov, B.S. Kompaneets // *Energo- i resursosberezhenie – XXI vek.: materialy XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii*, 15 marta – 30 iyunya 2015 g., g. Orel / pod redaktsiey d-ra tekhn. nauk, prof. O.V. Pilipenko, d-ra tekhn. nauk, prof. A.N. Kachanova, d-ra tekhn. nauk, prof. Yu.S. Stepanova. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2015. – S. 50-53.

2. Soshnikov, A.A. Obespechenie effektivnoy zashchity ot korotkikh zamykaniy vnutrennikh setey obektov APK / A.A. Soshnikov, O.N. Drobyazko, B.S. Kompaneets, A.V. Tsukanov // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2017. – Т. 31. No. 3. – S. 54-57.

3. Boron, S., Heyduk, A., Joostberens, J., Pielot, J. (2016). Empirical Model of a Human Body Resistance at a Hand-To-Hand DC Flow. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 22. 10.5755/j01.eie.22.4.15910.

4. Gierlotka S. (2011). Metody badan impedancji ciala czlowieka. *Wiadomosci elektrotechniczne*. 8: 18-20.

5. PUE 7. Pravila ustroystva elektroustanovok. Izdanie 7. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>.

6. Pravila ustroystva elektroustanovok / Minenergo SSSR. – 6-e izd., pererab.i dop. – Moskva: Energoatomizdat, 1987. – 648 s.

7. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektroustanovok potrebiteley [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa <https://www.elec.ru/library/direction/pteep/>.

