

# Повышение надёжности работы и защиты при коротких замыканиях линий наружного освещения автомобильных дорог

А.А. ГАЛИМОВА

Самарский государственный технический университет, Самара  
E-mail: akilya@mail.ru

## Аннотация

Представлена методика выбора защитных автоматов для эффективной защиты линий наружного освещения автомобильных дорог от коротких замыканий и повышения надёжности системы электроснабжения. В основе методики лежит принцип секционирования электрической сети. Методика позволяет расчётно и графически определять места установки защитных аппаратов в протяжённых линиях наружного освещения автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** линия наружного освещения автомобильной дороги, система электроснабжения, защита от коротких замыканий.

## Введение

Безопасность дорожного движения напрямую связана с эффективной и надёжной работой линий наружного освещения (ЛНО). Анализ публикаций по этой теме показал актуальность задачи повышения надёжности ЛНО и обеспечения качественных характеристик источников света при бесперебойном электроснабжении светильников [1–7].

Методика выбора проводников и размещения защитных аппаратов (ЗА) в линиях высокого и низкого напряжения известна [8], но она эффективна для систем электроснабжения и линий электропередач, соединяющих трансформаторную подстанцию (ТП) с нагрузкой. В протяжённых линиях с распределённой нагрузкой, особенно небольшой мощности, эта методика не позволяет выбор эффективной защиты от коротких замыканий. К числу подобных линий относятся и ЛНО автомобильных магистралей. Такие ЛНО, как правило, достаточно протяжённые, до нескольких километров, и имеют небольшую мощность, распределённую по всей длине. Режим короткого замыкания (КЗ) в ЛНО автомобильных магистралей имеет особенность – ток КЗ в конце линии, как правило, меньше или близок по значению току нагрузки в конце линии. В этом случае автоматические выключатели, установленные в распределительном устройстве 0,4 кВ на ТП, не отключают нагрузку при возникновении КЗ в конце линии.

В статье приведена методика выбора ЗА в протяжённых линиях, имеющих распределённую нагрузку. В основе методики лежит секционирование линии. Вся линия электропередачи делится на участки, каждый из которых защищён своими предохранителями.

## Постановка задачи

При разработке методики ставилась задача рассчитать ток КЗ в  $i$ -й точке линии на расстоянии  $l_i$  от ТП и найти  $j$ -й узел подключённой нагрузки на расстоянии  $l_j$  от ТП, в котором можно установить ЗА для эффективной защи-

ты участка линии  $l_j - l_i$ . При этом должны выполняться два условия:

– для обеспечения допустимого времени срабатывания ЗА ток КЗ должен быть не ниже номинального тока ЗА заданной кратности:

$$I_{\text{КЗ}} \geq KI_{\text{нз}}; \quad (1)$$

– номинальный ток ЗА должен быть не ниже номинального тока нагрузки в  $j$ -м узле:

$$I_{\text{нз}} \geq I_{\text{н}j}.$$

## Расчётный метод решения задачи

Ток КЗ рассчитывается по ГОСТ [9]. Схема замещения системы электроснабжения содержит схемы замещения трансформатора ТП и линии электропередачи. При расчёте комплексных сопротивлений схемы замещения также учитываются сопротивления коммутационных аппаратов, контактов и других элементов, входящих в систему электроснабжения.

Активное и реактивное сопротивления прямой последовательности трансформатора рассчитываются на основании паспортных данных, например, по формулам, приведённым в [10]. Сопротивление обратной последовательности трансформатора и сопротивления прямой и обратной последовательностей других элементов схемы замещения выбираются по ГОСТ [9].

В сетях 0,4 кВ минимальные токи возникают при несимметричных КЗ, поэтому в качестве критерия для выбора ЗА принимается ток однофазного КЗ  $I_{\text{кз}}^{(1)}$ :

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \sqrt{3} U_{\text{cp}} / \sqrt{(2R_{\Sigma} + R_0)^2 + (2X_{\Sigma} + X_0)^2}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{cp}}$  – среднее значение низкого напряжения, для сети 380 В оно равно 400 В;  $R_{\Sigma}$  и  $R_0$  – суммарные активные сопротивления прямой и обратной последовательностей схемы замещения системы электроснабжения, Ом, соответственно;  $X_{\Sigma}$  и  $X_0$  – суммарные реактивные сопротивления прямой и обратной последовательностей схемы замещения системы электроснабжения, Ом, соответственно.

Для определения  $j$ -го узла для установки ЗА используем формулу (1), подставив в левую часть которой правую часть формулы (2), получим неравенство

$$\sqrt{3} U_{\text{cp}} / \sqrt{(2R_{\Sigma} + R_0)^2 + (2X_{\Sigma} + X_0)^2} \geq KI_{\text{нз}}.$$

Выразив в нём номинальный ток нагрузки через мощность в  $j$ -м узле, получим неравенство

$$\sqrt{3} U_{cp} / \sqrt{(2R_{\Sigma} + R_0)^2 + (2X_{\Sigma} + X_0)^2} \geq (3P_{nj}/n) / \sqrt{3} U \cos \varphi, \quad (3)$$

где  $P_{nj}$  – мощность в  $j$ -м узле, Вт;  $n$  – количество узлов от точки подключения в ТП до  $j$ -го узла;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности, при проектировании коэффициент мощности принимается равным 0,85;  $U$  – номинальное напряжение системы электроснабжения, 380 В.

В результате решения неравенства (3) после подстановки в него параметров системы электроснабжения и схемы замещения можно определить узел нагрузки ( $n$ ), в котором требуется установить ЗА. Исходя из условия решения этого неравенства, расстояние от точки КЗ в  $i$ -м узле до  $j$ -го узла с ЗА при таком расчёте будет минимально допустимым. Погрешность выбора узла для установки ЗА с помощью неравенства (3) обусловлена тем, что номинальный ток ЗА выбирается из стандартного ряда токов автоматических выключателей или предохранителей, выпускаемых для применения в электрических сетях. Если разница между номинальным током нагрузки в  $j$ -том узле  $I_{nj}$  и стандартным номинальным током ЗА  $I_{нз}$  существенна, значение  $KI_{нз}$  может превышать ток КЗ. Подставлять в правую часть неравенства (3) номинальный ток ЗА также нецелесообразно, так как в неравенстве не будет связи с параметрами нагрузки. В приведённой методике автором предлагается следующее решение проблемы. Количество узлов от ТП до узла  $j$ , в котором необходимо установить ЗА, определяется как

$$n = (P_{\Sigma} - I_{нз} \sqrt{3} U \cos \varphi) / P_{nj}, \quad (4)$$

где  $P_{\Sigma}$  – суммарная нагрузка системы электроснабжения, Вт.

Номинальный ток ЗА выбирается следующим образом. Рассчитывается ток КЗ в конце линии. Номинальный ток ЗА выбирается равным не более чем  $1/K$  тока КЗ. Подставив в формулу (4) выбранное значение номинального тока защиты, определяем значение  $n$ . Окончательный выбор узла  $j$  производится с помощью неравенства (3): если оно не выполняется, то значение  $n$  корректируется. Опыт реше-

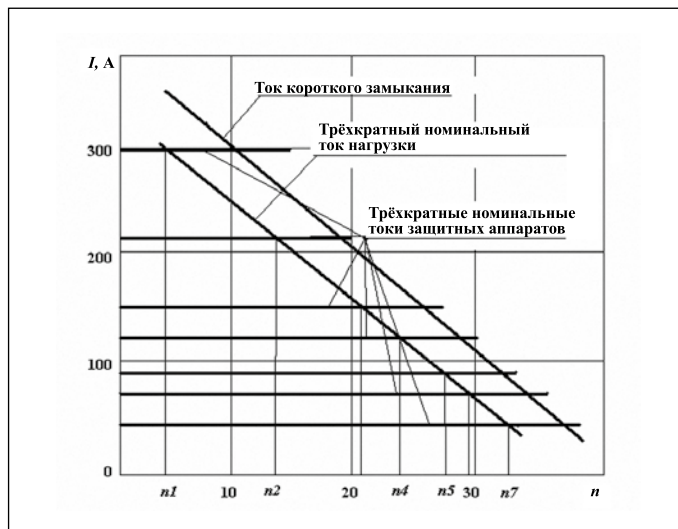


Рисунок. Распределение токов короткого замыкания и токов нагрузки в узлах линии электропередачи

ния подобных задач показал, что если неравенство (3) не выполняется, следует уменьшить значение  $n$ , выбрав узел  $j-1$ . Далее рассчитывается ток КЗ в узле  $j$ , выбирается узел для установки ЗА и определяется диапазон защиты. Таким образом выполняется расчёт для всей линии электропередачи. Последний узел для расчёта и установки ЗА – распределительное устройство низкого напряжения в ТП.

### Графический метод решения задачи

Задача выбора узла для установки ЗА участка линии электропередачи может быть решена и графически.

На рисунке представлены токи КЗ и трёхкратные номинальные токи в узлах распределённой нагрузки (для автоматических выключателей с характеристикой  $A$ ). На рисунке также представлены линии, соответствующие минимально допустимой кратности токам КЗ для выключателей с характеристикой  $A$ . Точка пересечения линии трёхкратного номинального тока ЗА и зависимости трёхкратного тока нагрузки в узлах соответствует значению  $n$ , которое является нижней границей для узла, в котором целесообразно устанавливать ЗА. А максимально допустимый узел установки ЗА – точка пересечения линий, соответствующих трёхкратным номинальным токам ЗА с лини-

Таблица

### Результаты выбора узла установки и параметров аппаратов защиты линии наружного освещения

Магистраль № 1					
Длина участков магистрали, км	0,585	1,193	1,73	2,566	3,055
Сечение провода, мм <sup>2</sup>	150		120		
Сопrotивление петли «фаза-ноль», Ом	1,314	2,44	3,67	4,63	6,69
Номинальный ток, А	87,7	70,9	55	38,4	17
Ток КЗ, А	527	284	189	150	103
Ток предохранителя, А	100	80	60	50	25
Номер опоры для установки предохранителя	89	72	56	39	17

ей токов КЗ. Диапазон действия ЗА, установленного, например, в точке  $n_1$  – до точки  $n_2$ , и т.д. Целесообразно выбирать узел нагрузки для установки защиты между двумя зависимостями, чтобы иметь запас надёжности по срабатыванию при КЗ и запас для возможной небольшой перегрузки в узле. При графическом методе решения задачи построение линий выполняется в соответствии с выбранным ЗА, так как время срабатывания при КЗ регламентируется ПУЭ и характеристикой выбранного ЗА.

### Практическая реализация методики

Методика применялась при проектировании и строительстве ЛНО автодороги, принадлежащей к категории общегородской магистрали, протяжённостью 6 км, в Самаре. ЛНО имеет четыре магистральных участка, протяжённостью около 3 км каждый. В результате секционирования каждая магистраль разделена на 4–5 участков, каждый из которых защищён группой предохранителей с номинальными токами, соответствующими условиям срабатывания.

Результаты расчётов одной из магистралей приведены в таблице. Соединение участков выполнено с помощью мачтовых рубильников, в каждом из которых установлены предохранители с параметрами, выбранными по данной методике. В результате секционирования каждый участок ЛНО со светильниками защищается от токов КЗ своими предохранителями. Кроме того, при возникновении КЗ в середине или конце линии, основная часть светильников будет работать, так как отключится только часть светильников, оказавшихся в зоне действия токов КЗ.

### Заключение

Изложенная в статье методика позволяет решать следующие задачи:

1. Определять расчётным и графическим путём место установки ЗА в протяжённых ЛНО автомобильных дорог.
2. Повышать эффективность действия ЗА при возникновении КЗ в ЛНО.
3. Повышать надёжность работы и эффективность использования электрооборудования ЛНО автомобильных магистралей.
4. Обеспечивать нормальную работу части ЛНО при аварии в конце ЛНО.

Эффективность и работоспособность предложенной в статье методики подтверждена реализованным проектом – успешно работающей ЛНО автомагистрали в Самаре.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Букатов А.С., Киричок А.И. Функциональное энергоэффективное освещение наружных пространств столицы: состояние и тенденции развития // Светотехника. – 2012. – № 6. – С. 38–41.
2. Айзенберг Ю.Б., Матвеева Е.Ю., Юшков Д.Д. О состоянии наружного освещения городов страны // Там же. – С. 42–43.
3. Немет-Видовски А., Шанда Я. Дорожное освещение и фотометрия в условиях сумеречного зрения // Там же. – С. 44–48.
4. Кинг Б. Разработка метода комплексной оценки дорожного и городского освещения // Светотехника. – 2012. – № 2. – С. 27–31.
5. Дехофф П. Качество освещения и энергоэффективность не противоречат друг другу // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 64–68.
6. Будак В.П., Ильина Е.И. Выбор показателей эффективности светильников утилитарного наружного освещения на этапе разработки // Светотехника. – 2012. – № 5. – С. 45–50.
7. Гардин А.И., Шарыгин М.В., Шевченко А.С. О расчёте электрической сети уличного освещения с осветительными приборами, работающими в режиме поддержания заданного энергопотребления // Светотехника. – 2011. – № 4. – С. 22–25.
8. Карпов Ф.Ф., Козлов В.Н. Справочник по расчёту проводов и кабелей. 2-е изд. – М. – Л.: Энергия, 1964. – 224 с.
9. ГОСТ 28249–93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока до 1 кВ»
10. Электротехнический справочник. Т. 1. Под общ. ред. П.Г. Грудинского и др. Изд. 5-е, испр. – М.: Энергия, 1974. – 776 с.



**Галимова Ахлия Анверовна**, кандидат техн. наук (1998 г.). Окончила в 1987 г. электротехнический факультет Куйбышевского политехнического института по специальности «Электрические системы и сети». Доцент кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета. Область научных интересов: системы электроснабжения и подстанции 0,4–35 кВ, линии наружного освещения автомагистралей

Подписывайтесь на журнал

**СВЕТО  
ТЕХНИКА** | **LIGHT &  
ENGINEERING**

На 1-е полугодие  
**2018** года

Индекс журнала 70808  
в каталоге «Пресса России», отдел «АРЗИ».  
Редакция также оформляет подписку на журнал

Адрес: 129626, г. Москва,  
проспект Мира, 106,  
ВНИСИ, оф. 327, 334  
Тел/факс: 8(495) 682 58 46  
E mail: journal.svetotekhnika@mail.ru