

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова

А. А. Сошников, Е. В. Титов

ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ОБЪЕКТАХ АПК С УЧЕТОМ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7568-1442-2



9 785756 814422

АлтГТУ
Барнаул • 2023

Об издании – [1](#), [2](#)

© Сошников А. А., Титов Е. В., 2023
© Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова, 2023

УДК 621.316.9
ББК 31.2

Сошников, А. А. Выбор электрической защиты на объектах АПК с учетом пожарной опасности коротких замыканий : учебно-методическое пособие / А. А. Сошников, Е. В. Титов. – Барнаул : АлтГТУ, 2023. – 59 с. – URL : http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2023/Soshnikov_VEZnOAPKsUPOKZ_ump.pdf. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7568-1442-2

Рассмотрена технология выбора системы электрической защиты с учетом пожарной опасности коротких замыканий на примере производственного объекта АПК. Приведены результаты сравнительной оценки эффективности защиты с различными структурно-параметрическими характеристиками при реализации мероприятий по увеличению токов короткого замыкания.

Пособие предназначено для студентов вузов по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника», а также работников проектных, электро-монтажных и эксплуатационных организаций электротехнического профиля.

Рецензенты:

Сидоров Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет);
Багаев Андрей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет».

Рекомендовано Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова для студентов по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»

Учебно-методическое пособие
Минимальные системные требования
Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т. п.
скорость подключения - не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т. п.

Дата подписания к использованию 9.03.2023. Объем издания – 3 Мб.
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, <https://www.altstu.ru>.

ISBN 978-5-7568-1442-2

[вперед \(содержание\)](#)

© Сошников А. А, Титов Е. В., 2023
© Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	6
2 МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА АПК	12
2.1 Исходные данные	12
2.2 Расчетное задание	13
2.3 Методика выбора параметров электрической защиты	15
2.3.1 Основные условия выбора предохранителей и автоматических выключателей для проектируемой сети	15
2.3.2 Выбор защиты по условиям несрабатывания в нормальном режиме	15
2.3.3 Проверка защиты по условиям надежного срабатывания в аварийном режиме	17
2.3.4 Согласование защиты с параметрами электропроводки при защите от коротких замыканий и перегрузок	19
2.3.5 Особенности выбора предохранителей и автоматических выключателей для действующей сети	19
2.4 Порядок выполнения расчетного задания	19
3 ПРИМЕР ВЫБОРА И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА АПК	20
3.1 Выбор параметров защиты по условиям несрабатывания в нормальном режиме	20
3.2 Оценка эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3С	27
3.2.1 Проверка условий надежного срабатывания защиты в аварийном режиме	27
3.2.2 Оценка показателей пожарной опасности коротких замыканий	30
3.3 Оценка эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3В	32
3.3.1 Проверка условий надежного срабатывания защиты в аварийном режиме	32
3.3.2 Оценка показателей пожарной опасности коротких замыканий	34
3.4 Оценка эффективности защиты предохранителями ПР-2	35
3.4.1 Проверка условий надежного срабатывания защиты в аварийном режиме	35

3.4.2 Оценка показателей пожарной опасности коротких замыканий.....	36
3.5 Оценка эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3С при реализации мероприятий по увеличению токов короткого замыкания.....	38
3.5.1 Оценка эффективности защиты при повышении мощности силового трансформатора до 630 кВА.....	38
3.5.2 Оценка эффективности защиты при схеме соединения обмоток трансформатора «звезда – зигзаг с нулем».....	40
3.5.3 Оценка эффективности защиты при увеличении сечения проводов воздушной линии до 35 мм ²	42
3.5.4 Оценка эффективности защиты при замене проводов воздушной линии 0,38 кВ воздушным кабелем (СИП).....	44
3.5.5 Оценка эффективности защиты при замене алюминиевой электропроводки на медную.....	46
3.5.6 Выбор рациональной совокупности мероприятий по увеличению токов короткого замыкания.....	48
3.5.7 Оценка эффективности защиты при использовании СИП с повышением сечения проводов.....	48
3.6 Оценка эффективности защиты предохранителями ПР-2 при реализации мероприятий по увеличению токов короткого замыкания.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	55
Приложение А. Исходные данные к расчетному заданию	57

ВВЕДЕНИЕ

Высокая пожарная опасность коротких замыканий в электроустановках низкого напряжения создает предпосылки для совершенствования принципов выбора структуры и параметров электрической защиты на основе автоматических выключателей и предохранителей, регламентированных действующими методиками [1 - 3].

В настоящем учебно-методическом пособии представлена разработанная в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) технология выбора электрической защиты с учетом пожарной опасности коротких замыканий [4 - 6]. На примере сельского производственного объекта с заданной схемой электроснабжения и известными параметрами электроприемников рассмотрена методика выбора различных вариантов системы электрической защиты и оценки ее эффективности по критериям, характеризующим пожарную опасность.

Приведены результаты сравнительной оценки эффективности защиты с различными структурно-параметрическими характеристиками при реализации мероприятий по увеличению токов короткого замыкания.

Рассмотренные подходы к решению задач практической реализации предложенной технологии выбора защиты определяют перспективные направления совершенствования ее проектирования и результативной эксплуатации и позволяют коренным образом изменить представление о неизбежности возникновения пожаров при коротких замыканиях в электроустановках. Поэтому настоящее пособие, предназначенное для студентов вузов по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника», может быть полезно для работников проектных, электромонтажных, а также эксплуатационных организаций электротехнического профиля.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Многолетний опыт эксплуатации электроустановок в АПК показывает, что эффективность электрической защиты на основе предохранителей и автоматических выключателей остается достаточно низкой из-за низкого уровня токов короткого замыкания (КЗ), несмотря на совершенствование защитной аппаратуры и все более широкое использование устройств защитного отключения (УЗО), которые по принципу действия не реагируют на однофазные КЗ на нулевой рабочий провод и междуфазные КЗ. Эти функции по-прежнему возлагают на автоматические выключатели, с которыми комбинируются УЗО.

Еще одной причиной низкой эффективности защиты является большой разброс характеристик срабатывания предохранителей и автоматических выключателей. Реальное время срабатывания защиты при одном и том же токе из-за наличия зоны разброса может отличаться в несколько раз.

Недопустимо высокое время срабатывания защиты при малых токах КЗ привело к необходимости изменения подхода к проверке ее чувствительности в методиках выбора параметров срабатывания. Нормирование минимально необходимой кратности аварийных токов [1] заменено на установление максимально допустимого времени срабатывания защиты [2]. В 7-м издании ПУЭ [2] это время регламентировано значениями 0,4 с для внутренних радиальных и 5 с для внешних сетей и внутренних групповых сетей.

Анализ возможного времени срабатывания автоматических выключателей различных типов, установленных на потребительских подстанциях, показал, что для верхних значений защитных характеристик регламентируемое время при удаленных однофазных КЗ в большинстве случаев не обеспечивается даже для внешних электрических сетей [4].

При защите внутренних сетей возникают дополнительные проблемы, обусловленные, прежде всего, значительно меньшим уровнем токов КЗ. Кроме того, возникающая при КЗ в электропроводах электрическая дуга, температура которой достигает нескольких тысяч градусов, может воспалить изоляцию или другие горючие материалы, что вместе с действием искр и расплавленных частиц металла часто приводит к развитию пожара. Действуя, как дуга электросварочного аппарата, дуга КЗ может пережечь электропроводку быстрее, чем срабатывает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов. Действующие методики выбора электрической защиты [1 - 3] не учитывают воздействие электриче-

ской дуги КЗ на электропроводку. Тем самым допускается возможность пожара еще на этапе проектирования защиты.

Общепринятым подходом к решению проблемы повышения чувствительности и быстродействия электрической защиты от КЗ является обеспечение соответствия параметров защитных аппаратов параметрам аварийного режима.

На сегодняшний день для защиты внутренних электрических сетей все большее применение находят автоматические выключатели серии ВА с номинальным током 10; 16; 25; 31,5; 40; 50; 63 А. Наибольшее распространение в России получили выключатели с характеристикой типа С, электромагнитные расцепители (ЭР) которых срабатывают в диапазоне кратности от 5 до 10 по отношению к номинальному току (I_n). Использование более чувствительных выключателей с характеристикой типа В (от 3 I_n до 5 I_n) достаточно ограничено из-за возможности ложных срабатываний, которые не исключены, прежде всего, вследствие ошибочного проектирования установки и непрофессиональной эксплуатации. В то же время в сельских сетях до сих пор эксплуатируют огромное количество автоматических выключателей серии АЕ с кратностью тока срабатывания ЭР 12 I_n . Очевидно, что замена выключателей серии АЕ на выключатели серии ВА позволит в определенной степени улучшить настройку на параметры аварийного режима. Однако проведенные расчеты показывают, что низкий уровень токов КЗ в сельских сетях исключает полное решение проблемы, как при защите автоматическими выключателями, так и предохранителями [5].

Учитывая проблематичность построения эффективной электрической защиты в системах сельского низковольтного электроснабжения, может быть предложен подход, дополняющий настройку параметров защиты под расчетные значения аварийных токов и предусматривающий их увеличение до уровня, при котором предохранители срабатывают быстрее, чем происходит перегрев проводов, а зона срабатывания автоматических выключателей смещается к области чувствительности электромагнитных расцепителей [4, 5].

При этом должны обеспечиваться требования ПУЭ [2] по максимально допустимому времени срабатывания.

С учетом изложенного, представляется целесообразным при выборе параметров электрических сетей при проектировании и реконструкции систем низковольтного электроснабжения учитывать уровень токов короткого замыкания, принимая во внимание, что его повышение достигается с помощью следующих мероприятий [4, 5]:

- увеличение мощности трансформаторов на потребительских подстанциях;
- использование силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда – зигзаг» или «треугольник – звезда»;
- увеличение сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ;
- замена традиционных воздушных линий 0,38 кВ с неизолированными проводами воздушными кабелями (СИП);
- увеличение сечения алюминиевых проводов на участках внутренних электрических сетей;
- замена алюминиевых проводов на медные на участках внутренних электрических сетей.

Однако необходимо иметь в виду, что в ряде случаев даже реализация совокупности этих мероприятий не гарантирует повышения токов КЗ до требуемого уровня и, в частности, до порога срабатывания ЭР всей линейки номинальных токов применяемых автоматических выключателей. Поэтому целесообразно использовать разработанный в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) подход к оценке эффективности электрической защиты по показателям пожарной опасности КЗ, основанный на следующем [4 - 6].

Диапазон токов однофазного, двухфазного или трехфазного КЗ на участке сети, для которого время пережога электропроводки возникающей электрической дугой меньше времени срабатывания защиты, называется незащищенной зоной или зоной пережога (рисунок 1.1). Отношение диапазона токов КЗ, для которого время пережога меньше времени срабатывания защиты, к диапазону токов КЗ на участке сети можно интерпретировать, как долю незащищенной части участка сети.

Показатель $k_s^{нз(k)}$, определяемый долей незащищенной части участка сети (отношение длины незащищенной части участка электрической сети к полной длине участка), называется коэффициентом незащищенности участка сети:

$$k_s^{нз(k)} = \frac{l_s^{нз(k)}}{l_s} \quad (1.1)$$

где l_s – длина (м) s -го участка сети ($s = 1, \dots, S$);

$l_s^{нз(k)}$ – длина (м) зоны пережога на этом участке при k -м виде КЗ.

Нулевая величина этого показателя соответствует отсутствию опасности пережога на участке сети (и, как следствие, значительно меньшей опасности пожара, так как процесс развития КЗ ограничен электрической защитой), а равная единице – полной незащищенности участка сети.

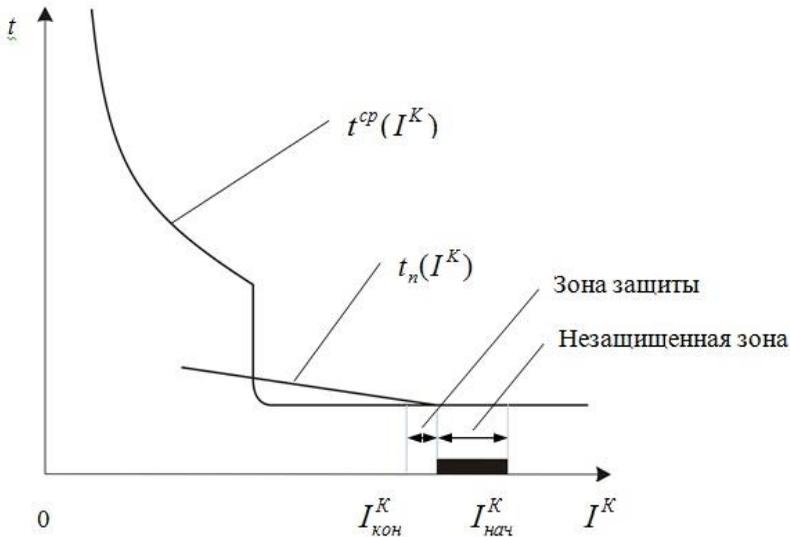


Рисунок 1.1 – Совмещенные характеристики пережога провода $t_n(I^k)$ и срабатывания автоматического выключателя $t^{cp}(I^k)$

На основе этого показателя строится показатель $K^{нз(k)}$, который характеризует пожарную опасность сети в целом и называется коэффициентом незащищенности электрической сети. Он должен рассчитываться для каждого вида КЗ, имеет граничные значения 0 и 1 и может быть определен как отношение суммы длин зон пережога к сумме длин всех участков сети:

$$K^{нз(k)} = \frac{\sum_{s=1}^s l_s^{npr(k)}}{\sum_{s=1}^s l_s} \quad (1.2)$$

Учитывая, что пожарную опасность при дуговых коротких замыканиях представляют прежде всего участки электрической сети, для которых время пережога меньше времени срабатывания защиты (в этом случае защита не влияет на процесс пережога и пожароопасные факторы электрической дуги) в заданном диапазоне токов КЗ, можно поставить в соответствие эффект пережога до срабатывания защиты и развитие вследствие этого пожара.

Тогда вероятность пожара $P_s^k(I)$ от КЗ данного вида в течение времени T на s -м участке сети можно определить по формуле:

$$P_s^k(I) = P_T^K k_s^{uz(k)} Q_y Q_3 Q_p Q_{T3}, \quad (1.3)$$

где P_T^K – вероятность возникновения КЗ данного вида на участке сети в течение времени Т;

Q_y – вероятность сосредоточения пожароопасного вещества вблизи электропроводки;

Q_3 – вероятность воспламенения пожароопасного вещества, включая горючую изоляцию;

Q_p – вероятность перерастания возникшего загорания в пожар;

Q_{T3} – вероятность отказа системы пожаротушения.

В расчетах значения вероятностей Q_y , Q_3 , Q_p и Q_{T3} принимаются равными единице, поэтому $P_s^k(I)$ называется показателем пожарной опасности к-го вида короткого замыкания на s-ом участке электрической сети:

$$P_s^k(I) = P_T^K k_s^{uz(k)}. \quad (1.4)$$

Величина этого показателя численно равна значению вероятности пожара на объекте при к-м виде короткого замыкания при условии, что перегорел электропроводки до срабатываний защиты обязательно приводит к пожару.

Используя коэффициент незащищенности электрической сети, можно определить показатель пожарной опасности к-го вида короткого замыкания для всей электрической сети рассматриваемого объекта по формуле:

$$P^k(I) = P_T^{K(k)} K^{H3(k)}, \quad (1.5)$$

где $P_T^{K(k)}$ – вероятность КЗ к-го вида в электрической сети в течение времени Т.

С учетом введенных показателей и допущения о том, что за время Т пожар на объекте происходит от КЗ только на одном из участков сети, причем КЗ на всех участках равновероятны, в соответствии с теоремой умножения вероятностей может быть определен интегральный показатель пожарной опасности в электрической сети из-за короткого замыкания (независимо от его вида):

$$P(I) = 1 - [1 - P^{K1}(I)][1 - P^{K2}(I)][1 - P^{K3}(I)][1 - P^{KK}(I)], \quad (1.6)$$

где $P^{K1}(I)$, $P^{K2}(I)$, $P^{K3}(I)$, $P^{KK}(I)$ – соответственно показатели пожарной опасности однофазного, двухфазного, трехфазного КЗ и однофазного КЗ на открытые проводящие части (называемые далее «КЗ на корпус»).

Показатели, определяемые по формулам (1.4) – (1.6), можно рассматривать в качестве количественной меры пожарной опасности электропроводок и использовать для оценки эффективности электрической защиты.

Расчеты токов КЗ и показателей эффективности функционирования электрической защиты производятся с помощью разработанного в АлтГТУ программного комплекса СКЭД-380 [7, 8]

С учетом изложенного, методика выбора эффективной электрической защиты включает следующие этапы.

1. Производится выбор электрической защиты для рассматриваемого производственного объекта и заданной схемы электроснабжения. На схеме указываются параметры силового трансформатора, аппаратов электрической защиты и проводов внешней и внутренней электрической сети.

2. Рассчитываются:

- значения токов короткого замыкания всех видов и времена срабатывания защиты при однофазных КЗ на каждом участке электрической сети;

- коэффициенты незащищенности по участкам сети и сети в целом для каждого вида КЗ;

- показатели пожарной опасности для каждого вида КЗ и интегральный показатель пожарной опасности для всех видов КЗ.

3. Производится анализ результатов расчета и оценка пожарной опасности КЗ по каждому участку электрической сети и для сети в целом.

4. Выбираются альтернативные варианты электроснабжения и (или) электрической защиты объекта с учетом возможности изменения параметров внешней и внутренней электрической сети, включая полную или частичную замену внутренней электропроводки (изменения материала и сечения проводов).

5. Для выбранных вариантов рассчитываются показатели по п.2. и экономические показатели.

6. По рассчитанным показателям пожарной опасности и значениям коэффициентов незащищенности участков сети выбирается оптимальный вариант системы электроснабжения и (или) электрической защиты с учетом экономических ограничений.

Примечание. В настоящем пособии экономические показатели не рассматриваются.

Таким образом, для повышения чувствительности и быстродействия электрической защиты параметры системы электроснабжения 0,38 кВ, включая электропроводки во внутренней электрической сети,

необходимо выбирать с учетом уровня токов короткого замыкания, а систему защиты проектировать с учетом показателей пожарной опасности коротких замыканий.

Очевидно, что предложенный подход, связан с дополнительными затратами. Однако мероприятия по увеличению уровня токов КЗ одновременно повышают надежность электроснабжения и качество напряжения у потребителей, а также улучшают условия пуска мощных асинхронных электродвигателей. Благодаря повышению эффективности электрической защиты в ряде случаев снижается ущерб от перерывов электроснабжения и повреждений электрооборудования, уменьшается вероятность возникновения электропожаров.

Необходимо также отметить, что использование этих рекомендаций не позволяет определить единые требования к параметрам низковольтных электрических сетей. Требуется проведение расчетов технических и экономических показателей для конкретных вариантов электроснабжения различного вида электропотребителей.

Оценить возможность надежного срабатывания предохранителей и ЭР автоматических выключателей позволяют результаты расчета токов однофазного КЗ в удаленных точках внутренней сети при различных параметрах внешней сети, а также показателей пожарной опасности [9].

2 МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА АПК

2.1 Исходные данные

Сельский производственный объект питается от подстанции 10/0,4 кВ с трансформатором мощностью 250 кВА и схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» через воздушную линию (ВЛ) с алюминиевыми проводами сечением 25 мм² (рисунок 2.1).

На головном участке ВЛ установлен автоматический выключатель ВА57Ф-35 с номинальным током теплового расцепителя 100 А и током срабатывания электромагнитного расцепителя 500 А.

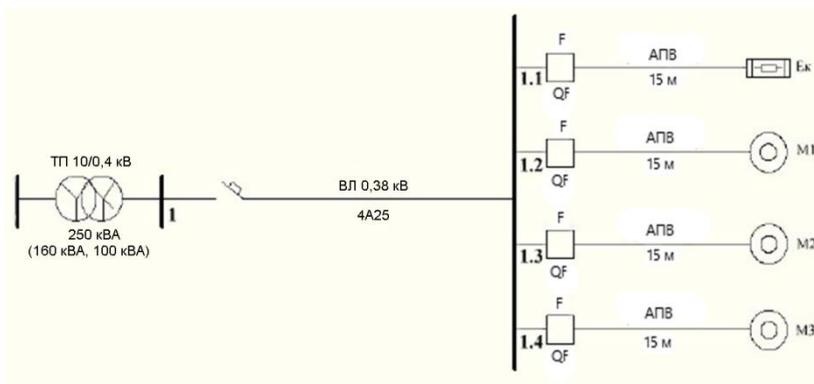


Рисунок 2.1 – Расчетная схема электроснабжения

Параметры внешней и внутренней электрической сети, а также параметры нагрузки представлены на расчетной схеме (рисунок 2.1) и в таблице 2.1.

Возможные альтернативные варианты исходных данных приведены в приложении А.

Таблица 2.1- Исходные данные

Мощность трансформатора, кВА	Длина воздушной линии, м	Мощность нагрузки, кВт			
		E_k	M_1	M_2	M_3
250	350				

Все электродвигатели – асинхронные, трехфазные с легким пуском, кратностью пускового тока 5, номинальным коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,8$ номинальным коэффициентом полезного действия $\eta = 0,9$. Для электронагревателя $\cos \varphi = 0,9$.

2.2 Расчетное задание

Для представленной схемы выбрать параметры системы защиты от КЗ и перегрузок внутренней электрической сети по условиям несрабатывания в нормальном режиме и сечения алюминиевых трехжильных или трех одножильных проводов, прокладываемых в трубах:

- для варианта с автоматическими выключателями серии ВА 61F29 и характеристикой типа С;
- для варианта с автоматическими выключателями серии ВА 61F29 и характеристикой типа В;
- для варианта с предохранителями ПР-2.

Оценить эффективность головной защиты, а также каждого из вариантов системы защиты внутренней сети для исходной схемы электроснабжения.

Оценить эффективность системы защиты внутренней сети для варианта с автоматическими выключателями серии ВА 61F29 и характеристикой типа С после проведения каждого из мероприятий по увеличению уровня токов КЗ, включая следующие:

- повышения мощности трансформаторов на подстанции до 630 кВА (мероприятие № 1);
- использования силового трансформатора с заданной мощностью при схеме соединения обмоток «звезда - зигзаг с нулем» (мероприятие № 2);
- увеличения сечения проводов воздушной линии 0,38 кВ на 1 – 2 ступени (мероприятие № 3);
- замены проводов воздушной линии 0,38 кВ исходного варианта воздушными кабелем (СИП) с тем же сечением фазных проводов (мероприятие № 4);
- замены на участках внутренних электрических сетей алюминиевых проводов на медные того же сечения (мероприятие № 5).

Предложить рациональную совокупность технических мероприятий, обеспечивающих максимальную эффективность электрической защиты.

Оценить эффективность системы защиты внутренней сети для варианта с предохранителями ПР-2 после проведения совокупности мероприятий по увеличению уровня токов КЗ, предложенной для системы защиты с выключателями серии ВА 61F29 с характеристикой типа С.

Примечание. В общем случае для принятия решения по выбору мероприятий для повышения эффективности защиты должны использоваться экономические критерии, оценка которых в рассматриваемом задании не предусмотрена. При этом очевидно, что наиболее затратными из рассмотренных являются мероприятия № 1 и № 2. Поэтому они могут быть рекомендованы на этапе проектирования системы электроснабжения или при плановой реконструкции. Менее затратным вариантом является вариант № 4, который может быть предложен, например, в сочетании с мероприятием по увеличению

сечения проводов. Расчетное задание допускает возможность использования любой версии плановой реконструкции системы электропитания.

2.3 Методика выбора параметров электрической защиты

2.3.1 Основные условия выбора предохранителей и автоматических выключателей для проектируемой сети

Предохранители и автоматические выключатели выбирают [8, 9]:

- по условиям несрабатывания в нормальном режиме;
- по условиям надежного срабатывания в аварийном режиме;
- по условиям согласования с параметрами электропроводки.

При этом должны выполняться условия соответствия параметров защиты значениям номинального напряжения сети и предельного отключающего тока. В задании принято, что эти критерии выполняются.

Существуют также дополнительные условия выбора параметров защиты, которые здесь не рассматриваются.

2.3.2 Выбор защиты по условиям несрабатывания в нормальном режиме

Для предохранителей

а) при статической нагрузке:

$$I_B \geq K_H \cdot I_P, \quad (2.1)$$

где I_B - номинальный ток плавкой вставки;

$I_{P, \max}$ - максимальный рабочий ток;

K_H - коэффициент надежности, принимаемый равным 1...1,2.

б) при защите линии с электродвигателем:

$$I_B \geq \frac{I_n}{\alpha}, \quad (2.2)$$

где I_n - пусковой ток электродвигателя; α - коэффициент, учитывающий условия пуска:

$\alpha = 2,5$ - при легком пуске (для ПН-2);

$\alpha = 3$ - при легком пуске (для ПР-2);

$\alpha = 1,6$ - при тяжелом пуске (для ПН-2);

$\alpha = 2$ - при тяжелом пуске (для ПР-2).

в) при защите или линии с несколькими электродвигателями:

$$I_B \geq \frac{I_{n,нб}}{\alpha} + k_0 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} I_{ni} \quad , \quad (2.3)$$

где $I_{n,нб}$ - пусковой ток электродвигателя наибольшей мощности;

I_{ni} - номинальный ток i -го электродвигателя;

n - число электродвигателей;

k_0 - коэффициент одновременности (принимаемый в задании равным 1).

Аналогичная формула применяется при защите шиносборки со статической и динамической нагрузкой.

Для тепловых расцепителей автоматических выключателей

а) при защите группы электропотребителей:

$$I_{нт} \geq K_з I_{р,макс}, \quad (2.4)$$

где $I_{нт}$ - номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{р,макс}$ - максимальный рабочий ток;

$K_з$ - коэффициент запаса, принимаемый равным 1,25 – 1,5.

б) при защите воздушных линий 0,38 кВ:

$$I_{нт} \geq 1,1(I_{р,макс} + 0,4 I_{n,нб}). \quad (2.5)$$

в) при защите линии с одним электродвигателем:

$$I_{нт} \geq I_{n,дв} \quad (2.6)$$

где $I_{n,дв}$ - номинальный ток электродвигателя.

г) при защите статической нагрузки:

При защите статической нагрузки используется формула, аналогичная (2.1).

Для электромагнитных расцепителей автоматических выключателей

а) при защите группы электропотребителей:

$$I_3 \geq K_n I_{\max} \quad (2.7)$$

где I_3 - ток срабатывания электромагнитного расцепителя;
 I_{\max} - максимальный ток в линии, учитывающий пусковые токи электродвигателей;
 $K_n = (1,5 - 2,1)$.

б) при защите линии с одним электродвигателем:

$$I_3 \geq K_n I_n, \quad (2.8)$$

где $K_n = (1,5 - 2,1)$.

в) для статической нагрузки:

$$I_3 \geq K_3 I_n, \quad (2.9)$$

где $K_3 = (1,1 - 1,2)$.

2.3.3 Проверка защиты по условиям надежного срабатывания в аварийном режиме

В настоящее время действуют два подхода проверки соответствия защиты данному критерию.

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [1] регламентируют проверку по кратности тока КЗ.

7-е издание ПУЭ [2] регламентирует проверку по времени срабатывания защиты.

В расчетном задании предусмотрена оценка эффективности защиты при ее выборе по каждому из этих критериев.

При выборе защиты по кратности тока КЗ

Для предохранителей

Должно выполняться условие:

$$\frac{I_k^{\min}}{I_B} \geq 3, \quad (2.10)$$

где I_k^{min} - значение минимального тока КЗ в защищаемой линии.

(Для взрывоопасных помещений кратность тока КЗ не должна быть меньше 4).

Для тепловых расцепителей автоматических выключателей

Должно выполняться условие:

$$\frac{I_k^{min}}{I_{nm}} \geq 3 \quad (2.11)$$

(Для взрывоопасных помещений кратность тока КЗ не должна быть меньше 6).

Для электромагнитных расцепителей автоматических выключателей

Должно выполняться условие:

$$\frac{I_k^{min}}{I_\Delta} \geq 1,4 . \quad (2.12)$$

Примечание. В формуле (2.12) используется среднее значение тока срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.

При выборе защиты по времени срабатывания

Для предохранителей и автоматических выключателей

Должны выполняться условия:

а) Для внутренних радиальных сетей:

$$t \leq 0,4 \text{ с} \quad (2.13)$$

б) Для внутренних групповых и внешних сетей:

$$t \leq 5 \text{ с}, \quad (2.14)$$

где t - время срабатывания защиты.

2.3.4 Согласование защиты с параметрами электропроводки при защите от коротких замыканий и перегрузок

Для предохранителей

Должно выполняться условие:

$$I_{доп} \geq 1,25I_{\theta}, \quad (2.15)$$

где $I_{доп}$ – допустимый ток провода.

Для выключателей с электромагнитным расцепителем:

Должно выполняться условие:

$$I_{доп} \geq 1,25I_{\theta} . \quad (2.16)$$

Для выключателей с тепловым расцепителем:

Должно выполняться условие:

$$I_{доп} \geq I_{нт} . \quad (2.17)$$

2.3.5 Особенности выбора предохранителей и автоматических выключателей для действующей сети

1. Определяются допустимые токи на участках действующей сети.
2. Определяются параметры защиты по условиям согласования с параметрами электропроводки.
3. Проверяются условия несрабатывания, надежного срабатывания и др.

2.4 Порядок выполнения расчетного задания

Для исходной схемы электроснабжения производится выбор номинальных токов тепловых расцепителей ($I_{нт}$) автоматических выключателей ВА 61F29 с характеристиками типа **С** и **В** по условиям несрабатывания в нормальном режиме, а также проверка условий несрабатывания их электромагнитных расцепителей.

Токи срабатывания электромагнитных расцепителей для выключателей с характеристикой типа **C** находятся в диапазоне (5 – 10) $I_{нт}$, а с характеристикой типа **B** - в диапазоне (3 – 5) $I_{нт}$.

Далее, по условиям согласования с параметрами защиты, производится выбор сечений проводов алюминиевой электропроводки по участкам внутренней сети для каждого из вариантов рекомендуемых типов автоматических выключателей.

Аналогично производится выбор параметров предохранителей ПР-2 и электропроводки для этого варианта системы защиты.

Значения номинальных токов тепловых расцепителей автоматических выключателей ВА 61F29 выбираются из ряда: 6,3; 10; 16; 20; 25; 32 (31,5); 40; 50; 63 А, а плавких вставок предохранителей ПР-2 из ряда: 6; 10; 15; 20; 25; 35; 45; 60 А

Затем, с использованием программного комплекса СКЭД-380, производится расчет токов КЗ и времени срабатывания аппаратов защиты при однофазных КЗ в конце каждого участка сети. Результаты расчета используются для проверки выполнения обоих критериев надежного срабатывания автоматических выключателей и предохранителей.

Для каждого вида системы защиты внутренней сети выполняется комплекс расчетов показателей эффективности в соответствии с заданием. Оценивается также эффективность защиты головного участка ВЛ по нормируемому времени срабатывания.

По результатам анализа расчетных данных формулируются выводы по оценке эффективности электрической защиты внутренней сети автоматическими выключателями с характеристиками **C** и **B**, а также предохранителями ПР-2 для исходной схемы электроснабжения и предлагается рациональная совокупность технических мероприятий, обеспечивающих максимальную эффективность электрической защиты для вариантов с использованием автоматических выключателей с характеристикой типа **C** и предохранителями ПР-2.

3 ПРИМЕР ВЫБОРА И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА АПК

3.1 Выбор параметров защиты по условиям несрабатывания в нормальном режиме

- 1) Для линии 1.1 с электронагревателем E_K :

Номинальный ток электронагревателя рассчитывается по формуле:

$$I_n = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}. \quad (3.1)$$

Номинальный ток электронагревателя E_K :

$$I_n = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 16,9 \text{ A}.$$

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя для линии с электронагревателем по условию несрабатывания в нормальном режиме рассчитывается по формуле (2.1):

$$I_{HT} \geq 16,9 \text{ A}.$$

Принимается стандартное значение:

$$I_{HT} = 20 \text{ A}.$$

Диапазон тока срабатывания электромагнитного расцепителя (ЭР) для автоматического выключателя с характеристикой типа **C**:

$$I_s = (100 - 200) \text{ A}.$$

По условию несрабатывания ЭР выключателя для линии с электронагревателем в соответствии с формулой (2.9):

$$I_s \geq 1,2 \cdot 16,9 = 20,28 \text{ A}.$$

Поскольку условие несрабатывания ЭР выключателя выполняется ($100 \text{ A} > 20,28 \text{ A}$), окончательно принимается автоматический выключатель: ВА 61F29-3C20.

Диапазон тока срабатывания ЭР для автоматического выключателя с характеристикой типа **B**:

$$I_s = (60 - 100) \text{ A}.$$

Поскольку условие несрабатывания ЭР выполняется ($60 \text{ A} > 20,28 \text{ A}$), окончательно принимается автоматический выключатель ВА 61F29-3B20.

По условию согласования с параметрами автоматического выключателя выбирается электропроводка в соответствии с формулой (2.17):

$$I_{доп} \geq 20 \text{ A}.$$

По таблице В2 приложения В для каждого из выключателей принимается проложенный в трубе трехжильный алюминиевый провод с поливинилхлоридной изоляцией сечением 4 мм^2 с допустимым током 21 А.

При определении параметров предохранителей типа ПР-2 выбор номинального тока плавкой вставки производится по формуле (2.1):

$$I_B = 20 \text{ A}.$$

По условию (2.15) допустимый ток провода должен быть не менее 25 А. Окончательно принимается трёхжильный провод сечением 6 мм^2 с допустимым током 26 А.

2) Для линии 1.2 с электродвигателем М1:

Номинальный ток электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$I_{н.дв} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}. \quad (3.2)$$

Номинальный ток электродвигателя М1:

$$I_n = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 8,4 \text{ A}.$$

Пусковой ток асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$I_n = 5 \cdot I_n, \quad (3.3)$$

где I_n – номинальный ток электродвигателя.

Пусковой ток асинхронного электродвигателя М1:

$$I_n = 5 \cdot 8,4 = 42,2 \text{ A}.$$

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя по условию несрабатывания в нормальном режиме:

$$I_{nm} \geq 8,4 \text{ A}.$$

Принимается стандартное значение:

$$I_{nm} = 10 \text{ A} .$$

Диапазон тока срабатывания ЭР для автоматического выключателя серии с характеристикой типа **C**:

$$I_s = (50 - 100) \text{ A} .$$

По условию несрабатывания ЭР выключателя при пуске электродвигателя в соответствии с формулой (2.8):

$$I_s \geq 1,5 \cdot 42,2 = 63,3 \text{ A} .$$

Поскольку это условие не выполняется для минимального значения тока срабатывания ЭР, принимается значение:

$$I_n = 16 \text{ A} .$$

При этом значение тока срабатывания ЭР выключателя:

$$I_s = (80 - 160) \text{ A} .$$

Поскольку условие несрабатывания ЭР выключателя выполняется ($80 \text{ A} > 63,3 \text{ A}$), окончательно принимается автоматический выключатель: ВА 61F29 - 3С16.

По условию согласования с параметрами автоматического выключателя выбирается электропроводка в соответствии с формулой (2.17):

$$I_{don} \geq 16 \text{ A} .$$

По таблице В.2 приложения В принимается проложенный в трубе трёхжильный алюминиевый провод с поливинилхлоридной изоляцией сечением 4 мм^2 с допустимым током 21 А.

Минимальное значение номинального тока теплового расцепителя, выключателя с характеристикой типа **B**, для которого выполняется условие несрабатывания ЭР, составляет:

$$I_{nm} = 25 \text{ A} .$$

При этом значение тока срабатывания ЭР выключателя:

$$I_s = (75 - 125) \text{ A} .$$

Минимальное значение тока срабатывания ЭР составляет 75 А, превышающее 63,3 А, поэтому окончательно принимают автоматический выключатель ВА61F29-3В25. По условию согласования с параметрами автоматического выключателя выбирается электропроводка в соответствии с формулой (2.17):

$$I_{доп} \geq 25 \text{ А} .$$

По таблице В2 приложения В принимается проложенный в трубе трехжильный алюминиевый провод с поливинилхлоридной изоляцией сечением 6 мм² с допустимым током 26 А.

При определении параметров предохранителей типа ПР-2 выбор номинального тока плавкой вставки производится по формуле (2.2):

$$I_B = \frac{42,2}{3} = 14,1 \text{ А} .$$

Принимается ближайшее стандартное значение:

$$I_B = 15 \text{ А} .$$

В соответствии с (2.15):

$$I_{доп} \geq 1,25 \cdot 15 = 18,75 \text{ А} .$$

Окончательно принимается проложенный в трубе трехжильный алюминиевый провод с поливинилхлоридной изоляцией сечением 4 мм² с допустимым током 21 А.

3) Для линии 1.3 с электродвигателем М2:

Номинальный ток электродвигателя М2 по формуле (3.2):

$$I_{н.дв} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 11,6 \text{ А} .$$

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя по условию несрабатывания в нормальном режиме:

$$I_{нт} \geq 11,6 \text{ А} .$$

Пусковой ток асинхронного электродвигателя :

$$I_n = 5 \cdot 11,6 = 58 \text{ A} .$$

По условию несрабатывания ЭР выключателя при пуске электродвигателя:

$$I_s \geq 1,5 \cdot 58 = 87 \text{ A} .$$

Минимальное значение номинального тока теплового расцепителя, при котором выполняется условие несрабатывания ЭР, составляет для выключателя с характеристикой **C**:

$$I_{нт} = 20 \text{ A} ,$$

а для выключателя с характеристикой **B**:

$$I_{нт} = 32 \text{ A} .$$

При таких значениях номинальных токов тепловых расцепителей минимальный ток срабатывания ЭР составляет для выключателя с характеристикой **C** – 100 А, а для выключателя с характеристикой **B** – 96 А, что превышает 87 А. Поэтому окончательно выбираются выключатели ВА61F29 – 3С20 и ВА61F-29-3В32.

При этом для выключателя с характеристикой типа **C** принимается трехжильный провод сечением 4 мм² с допустимым током 21 А, а для выключателя с характеристикой типа **B** - трехжильный провод сечением 10 мм² с допустимым током 38 А.

При определении параметров предохранителей ПР-2 номинальный ток плавкой вставки выбирается по условию (2.2):

$$I_B \geq \frac{58}{3} = 19,3 \text{ A} .$$

Принимается ближайшее стандартное значение:

$$I_B = 20 \text{ A} .$$

В соответствии с (2.15):

$$I_{дон} \geq 1,25 \cdot 25 = 25 \text{ A} .$$

Окончательно принимается трехжильный провод сечением 6 мм² с допустимым током 26 А.

4) Для линии 1.4 с электродвигателем М3:

Номинальный ток электродвигателя МЗ по формуле (3.2):

$$I_{н.дв} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 15,8 \text{ A} .$$

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя по условию несрабатывания в нормальном режиме:

$$I_{нм} \geq 15,8 \text{ A} .$$

Пусковой ток асинхронного электродвигателя МЗ:

$$I_n = 5 \cdot 15,8 = 79 \text{ A} .$$

По условию несрабатывания ЭР выключателя при пуске электродвигателя:

$$I_s \geq 1,5 \cdot 79 = 118,5 \text{ A} .$$

Минимальное значение номинального тока теплового расцепителя, при котором выполняется условие несрабатывания ЭР, составляет для выключателя с характеристикой **С**:

$$I_{нм} = 25 \text{ A} ,$$

а для выключателей с характеристикой **В**:

$$I_{нм} = 40 \text{ A} .$$

При таких значениях номинальных токов тепловых расцепителей минимальный ток срабатывания ЭР составляет для выключателей с характеристикой **С** – 125 А, а для выключателей с характеристикой **В** – 120 А, что превышает 118,5 А.

Поэтому окончательно выбираются выключатели ВА61F29-3С25 и ВА61F29-3В40. При этом для выключателя с характеристикой **С** принимается трехжильный провод сечением 6 мм² с допустимым током 26 А, а для выключателя с характеристикой **В** принимаются 3 одножильных провода сечением 10 мм².

При определении параметров предохранителей ПР-2 номинальный ток плавкой вставки выбирается по условию (2.2):

$$I_B \geq \frac{79}{3} = 26,3 \text{ A} .$$

Принимается ближайшее стандартное значение:

$$I_B = 35 \text{ A} .$$

В соответствии с (2.15):

$$I_{дон} \geq 1,25 \cdot 10 = 43,75 \text{ A} .$$

Окончательно принимаются 3 одножильных провода сечением 10 мм^2 с допустимым током 47 А.

Расчетные параметры внутренней сети для исходной схемы электроснабжения сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Расчетные параметры внутренней сети для исходной схемы электроснабжения

Тип защиты	Линия 1.1		Линия 1.2		Линия 1.3		Линия 1.4	
	Сечение провода, мм^2	Номинальный ток аппарата защиты, А	Сечение провода, мм^2	Номинальный ток аппарата защиты, А	Сечение провода, мм^2	Номинальный ток аппарата защиты, А	Сечение провода, мм^2	Номинальный ток аппарата защиты, А
ВА 61F29-3С	4	20	4	16	4	20	6	25
ВА 61F29-3В	4	20	6	25	10	32	10	40
Предохранитель ПР-2	6	20	4	15	6	20	10	35

3.2 Оценка эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3С

3.2.1 Проверка условий надежного срабатывания защиты в аварийном режиме

Проверка условий надежного срабатывания защиты по кратности тока КЗ

На рисунке 3.1 представлены результаты расчета токов короткого замыкания.

Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1.1	1711,37	156,431	5685,5	413,962	6143,95	437,832
1.2	156,431	131,917	413,962	329,233	437,832	348,863
1.3	156,431	131,917	413,962	329,233	437,832	348,863
1.4	156,431	139,226	413,962	353,348	437,832	374,184

Рисунок 3.1 – Расчетные значения токов КЗ

Для тепловых расцепителей автоматических выключателей должно выполняться условие (2.11).

Для линии 1:

$$I_k^{min} = 156A$$

$$\frac{156}{100} = 1,56$$

1,56 < 3 - условие не выполняется.

Для линии 1.1:

$$I_k^{min} = 132A$$

$$\frac{132}{20} = 6,6$$

6,6 > 3 - условие выполняется.

Для линии 1.2:

$$I_k^{min} = 132A$$

$$\frac{132}{16} = 8,25$$

8,25 > 3 - условие выполняется.

Для линии 1.3:

$$I_k^{min} = 132A$$

$$\frac{132}{20} = 6,6$$

6,6 > 3 - условие выполняется.

Для линии 1.4:

$$I_k^{min} = 139A$$
$$\frac{139}{25} = 5,56$$

5,56 > 3 - условие выполняется.

Таким образом, при однофазных КЗ в конце участков сети условие надежного срабатывания тепловых расцепителей по кратности токов КЗ не выполняется только для головного выключателя.

Для электромагнитных расцепителей автоматических выключателей должно выполняться условие (2.12).

Примечание. В формуле (2.12) используется среднее значение тока срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.

Для линии 1:

$$I_k^{min} = 156A$$
$$\frac{156}{500} = 0,312$$

0,312 < 1,4 - условие не выполняется.

Для линии 1.1:

$$I_k^{min} = 132A$$
$$\frac{132}{150} = 0,88$$

0,88 < 1,4 - условие не выполняется.

Для линии 1.2:

$$I_k^{min} = 132A$$
$$\frac{132}{120} = 1,1$$

1,1 < 1,4 - условие не выполняется.

Для линии 1.3:

$$I_k^{min} = 132A$$
$$\frac{132}{150} = 0,88$$

0,88 < 1,4 - условие не выполняется.

Для линии 1.4:

$$I_k^{min} = 139A$$
$$\frac{139}{187,5} = 0,74$$

0,74 < 1,4 - условие не выполняется.

Таким образом, при однофазных КЗ в конце участков сети условие надежного срабатывания электромагнитных расцепителей по кратности токов КЗ не выполняется для всех выключателей.

Проверка условий надежного срабатывания защиты по времени

На рисунке 3.2 представлены результаты расчета времени срабатывания автоматических выключателей при однофазных КЗ.

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	767.24	9999
1.1	2.9041	4232
1.2	0.01	4232
1.3	2.9041	4232
1.4	4.1464	1308

Рисунок 3.2 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

Для автоматических выключателей при защите внутренних радиальных сетей должно выполняться условие (2.13), а для воздушной линии – условие (2.14).

Этим условиям соответствует только выключатель на линии 1.2.

3.2.2 Оценка показателей пожарной опасности коротких замыканий

На рисунках 3.3 и 3.4 представлены результаты расчета коэффициентов незащищенности внутренней сети и показателей пожарной опасности коротких замыканий, включая интегральный показатель для выбранной системы защиты. Наибольшую пожарную опасность представляют однофазные КЗ на линиях 1.1, 1.3 (коэффициент незащищенности составляет 0,74) и 1.4 (коэффициент незащищенности равен 1).

Таким образом, учитывая результаты расчета показателей пожарной опасности, можно сделать вывод о низкой эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3С.

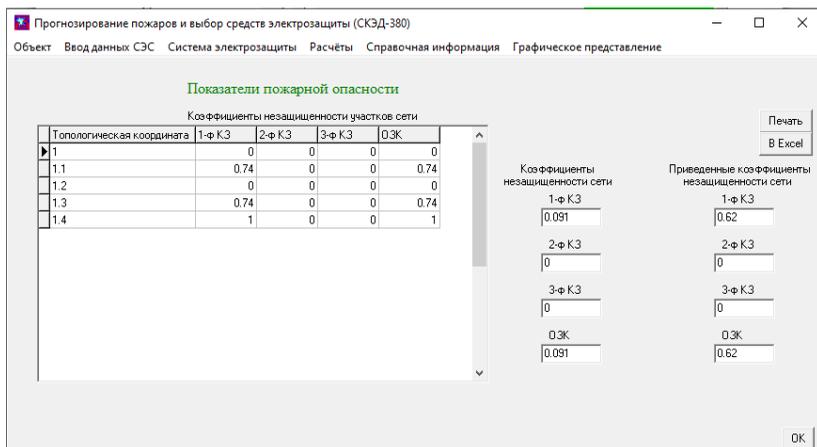


Рисунок 3.3– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

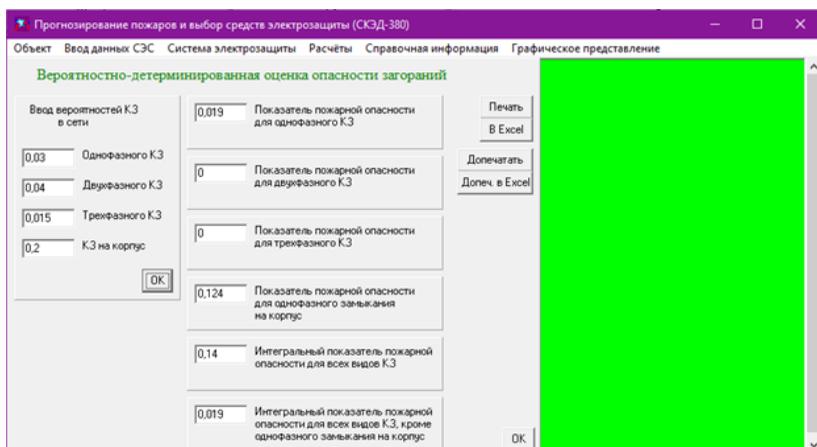


Рисунок 3.4 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

3.3 Оценка эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3В

3.3.1 Проверка условий надежного срабатывания защиты в аварийном режиме

Проверка условий надежного срабатывания защиты по кратности тока КЗ

На рисунке 3.5 представлены результаты расчета токов короткого замыкания.

Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711,37	156,431	5665,5	413,962	6143,55	437,832
1.1	156,431	131,917	413,962	329,233	437,832	348,863
1.2	156,431	139,226	413,962	353,348	437,832	374,184
1.3	156,431	145,596	413,962	375,346	437,832	397,287
1.4	156,431	145,596	413,962	375,346	437,832	397,287

Рисунок 3.5 – Расчетные значения токов КЗ

В результате оценки отношений значений тока однофазного КЗ в конце каждого участка к номинальному току теплового расцепителя соответствующего выключателя (по аналогии с п. 3.3.1), установлено, что условие надежного срабатывания тепловых расцепителей не выполняется только для головного выключателя.

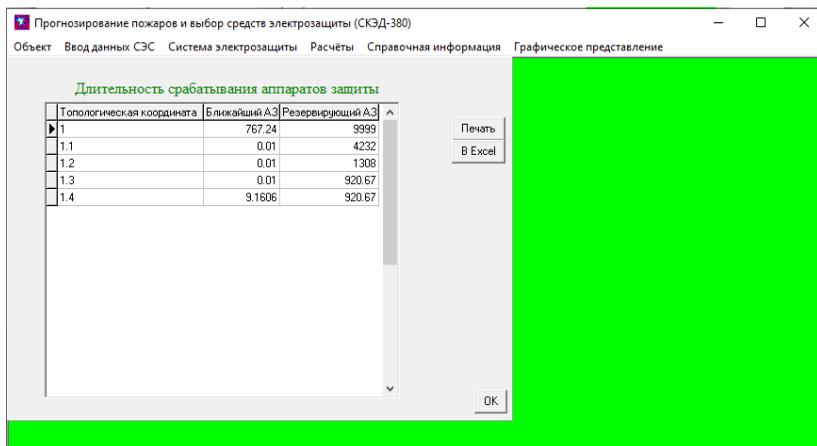
Для оценки эффективности электромагнитных расцепителей автоматических выключателей производится расчет отношений значений тока однофазного КЗ в конце каждого участка к среднему значению тока срабатывания ЭР соответствующих выключателей по условию (2.12). Для выключателей внутренней сети с характеристикой типа **В** среднее значения тока срабатывания ЭР соответствует четырехкратному значению тока теплового расцепителя.

В результате расчетов установлено, что при однофазных КЗ в конце участков сети условие надежного срабатывания электромагнит-

ных расцепителей выполняется только для выключателя на участке 1.1.

Проверка условий надежного срабатывания защиты по времени

На рисунке 3.6 представлены результаты расчета времени срабатывания автоматических выключателей при однофазных КЗ.



Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	767.24	9999
1.1	0.01	4232
1.2	0.01	1308
1.3	0.01	920.67
1.4	9.1606	920.67

Рисунок 3.6 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

Условиям надежного срабатывания по времени соответствуют выключатели на участках 1.1, 1.2, 1.3, однако защита линии 1.4 еще менее эффективна, чем для выключателя ВА 61F29-3С, так как время срабатывания увеличивается с 4,15 с до 9,16 с.

Анализ результатов представленных расчетов позволяет сделать вывод, что более чувствительные выключатели с характеристикой типа **В** существенно повышают эффективность защиты линий со статической нагрузкой. При наличии динамической нагрузки (электродвигателей) использование таких выключателей приводит к неоднозначному результату и в некоторых случаях может не только не улучшать, но и ухудшать эффективность защиты. Поэтому решение о возможности применения выключателей с характеристикой типа **В** должно базироваться на результатах уточнения параметров сети и оценки расчетного времени срабатывания при однофазных КЗ.

3.3.2 Оценка показателей пожарной опасности коротких замыканий

На рисунках 3.7 и 3.8 представлены результаты расчета коэффициентов незащищенности внутренней сети и показателей пожарной опасности коротких замыканий, включая интегральный показатель, для выбранной системы защиты. Высокую пожарную опасность представляют однофазные КЗ только на участке 1.4 (коэффициент незащищенности равен 1).

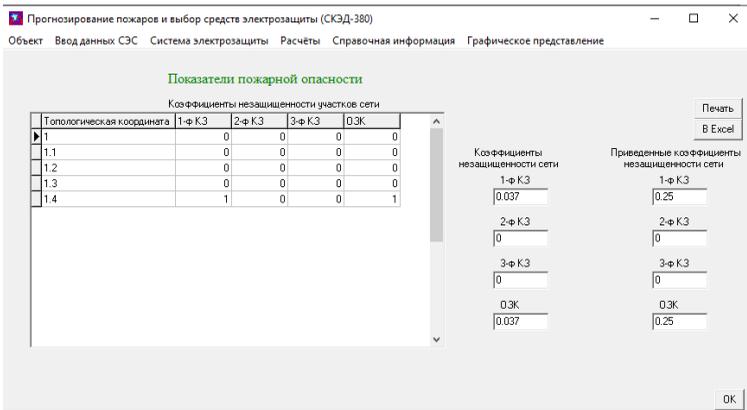


Рисунок 3.7– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

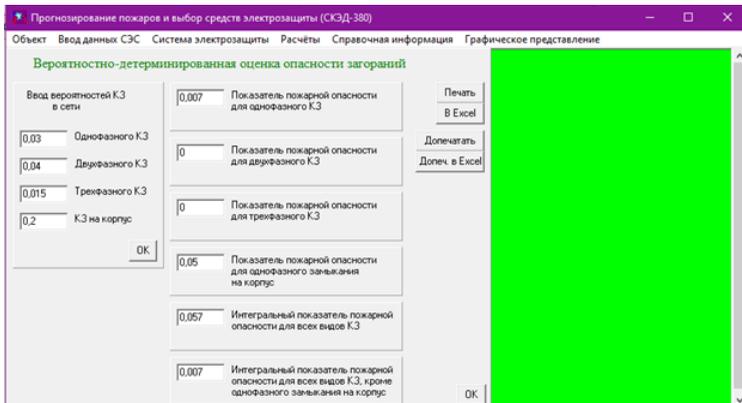


Рисунок 3.8 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Таким образом, для рассмотренного объекта использование выключателей с характеристикой типа **В** позволяет существенно снизить пожарную опасность КЗ. При этом интегральный показатель пожарной опасности (0,057) снижается почти в 2,5 раза по сравнению с этим показателем (0,14) для выключателей с характеристикой типа **С**.

3.4 Оценка эффективности защиты предохранителями ПР-2

3.4.1 Проверка условий надежного срабатывания защиты в аварийном режиме

Проверка условий надежного срабатывания защиты по кратности тока КЗ

На рисунке 3.9 представлены результаты расчета токов КЗ.

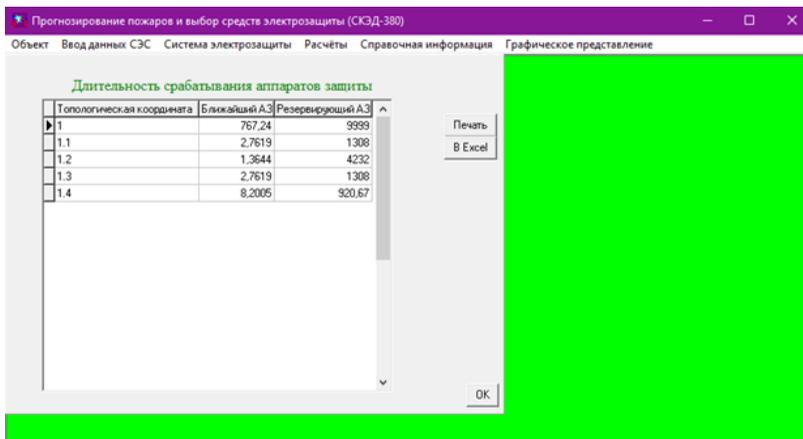
Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711,37	156,431	5665,5	413,962	6143,55	437,832
1.1	156,431	139,226	413,962	353,348	437,832	374,184
1.2	156,431	131,917	413,962	329,233	437,832	348,863
1.3	156,431	139,226	413,962	353,348	437,832	374,184
1.4	156,431	145,596	413,962	375,346	437,832	397,287

Рисунок 3.9 – Расчетные значения токов КЗ

Для всех участков с предохранителями условие надежного срабатывания (2.10) выполняется. При этом условие надежного срабатывания теплового (2.11) и электромагнитного расцепителей головного выключателя (2.12) не выполняются.

Проверка условий надежного срабатывания защиты по времени

На рисунке 3.10 представлены результаты расчета времени срабатывания автоматических выключателей при однофазных КЗ.



Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1.1	767,24	9999
1.2	2,7619	1308
1.3	1,3644	4232
1.4	2,7619	1308
1.4	8,2005	920,67

Рисунок 3.10 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

Для всех участков сети нормативное время срабатывания защиты (см. условия 2.13 и 2.14) не обеспечивается.

3.4.2 Оценка показателей пожарной опасности коротких замыканий

На рисунках 3.11 и 3.12 представлены результаты расчета коэффициентов незащищенности внутренней сети и показателей пожарной опасности коротких замыканий, включая интегральный показатель, для выбранной системы защиты. Высокую пожарную опасность представляют однофазные КЗ на всех участках внутренней сети (коэффициент незащищенности равен 1).

Таким образом, защита предохранителями для данной сети существенно повышает пожарную опасность КЗ по сравнению с выключателями. При этом интегральный показатель пожарной опасности составляет 0,266, что в 1,9 раза превышает значение этого показателя для сети с выключателями с характеристикой типа С.

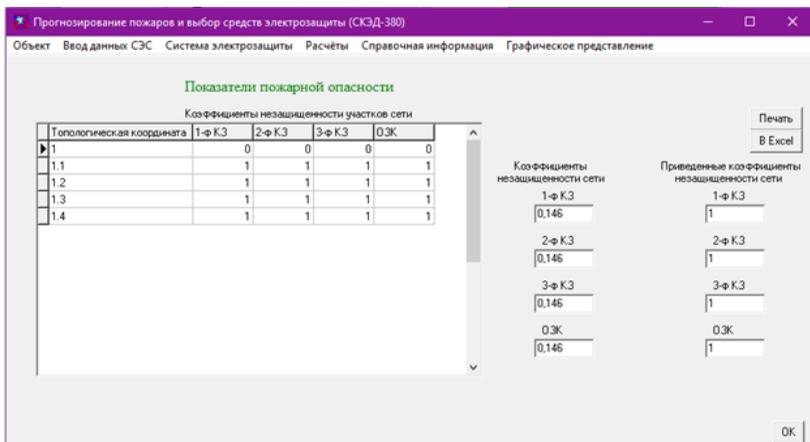


Рисунок 3.11 – Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

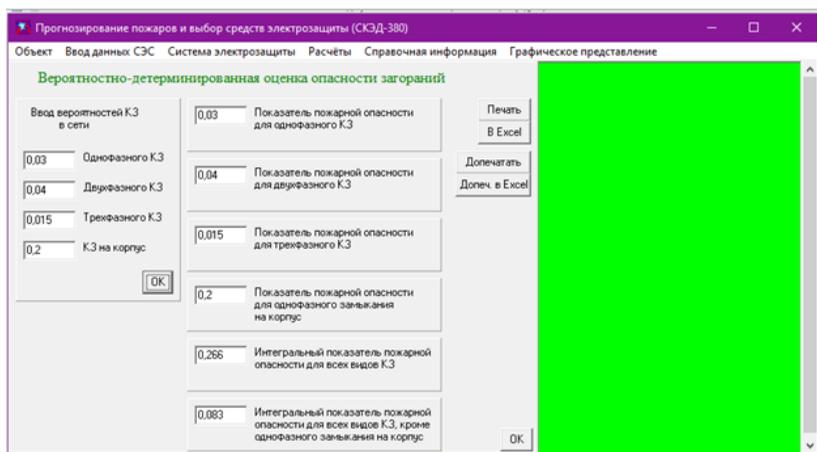
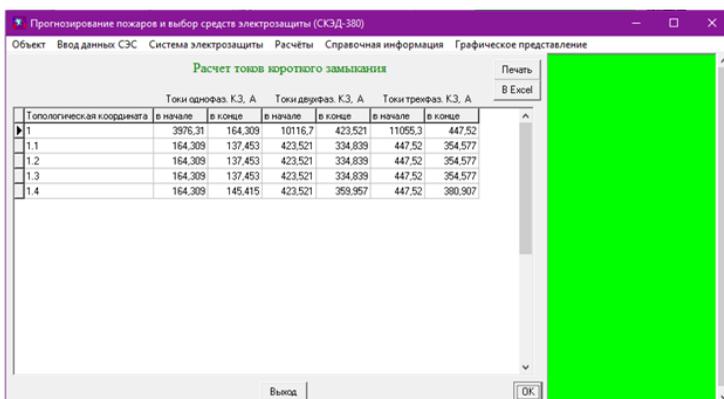


Рисунок 3.12 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

3.5 Оценка эффективности защиты автоматическими выключателями ВА 61F29-3С при реализации мероприятий по увеличению токов короткого замыкания

3.5.1 Оценка эффективности защиты при повышении мощности силового трансформатора до 630 кВА

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты при повышении мощности силового трансформатора на подстанции до 630 кВА, представлены на рисунках 3.13 - 3.16.



Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Введенных СЭС Система электрозащиты Расчеты Справочная информация Графическое представление

Расчет токов короткого замыкания

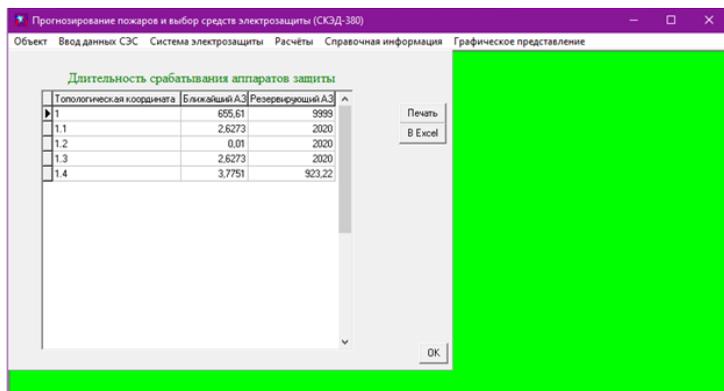
Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	3976,31	164,309	10116,7	423,521	11055,3	447,52
1.1	164,309	137,453	423,521	334,839	447,52	354,577
1.2	164,309	137,453	423,521	334,839	447,52	354,577
1.3	164,309	137,453	423,521	334,839	447,52	354,577
1.4	164,309	145,415	423,521	359,957	447,52	380,907

Вывод

Печать В Excel

OK

Рисунок 3.13 – Расчетные значения токов КЗ



Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Введенных СЭС Система электрозащиты Расчеты Справочная информация Графическое представление

Длительность срабатывания аппаратов защиты

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервировший АЗ
1	695,61	9999
1.1	2,6273	2020
1.2	0,01	2020
1.3	2,6273	2020
1.4	3,7751	923,22

Печать В Excel

OK

Рисунок 3.14 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

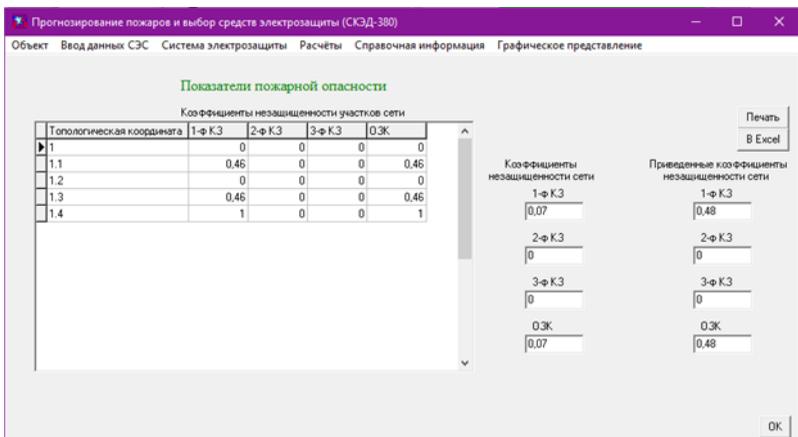


Рисунок 3.15– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

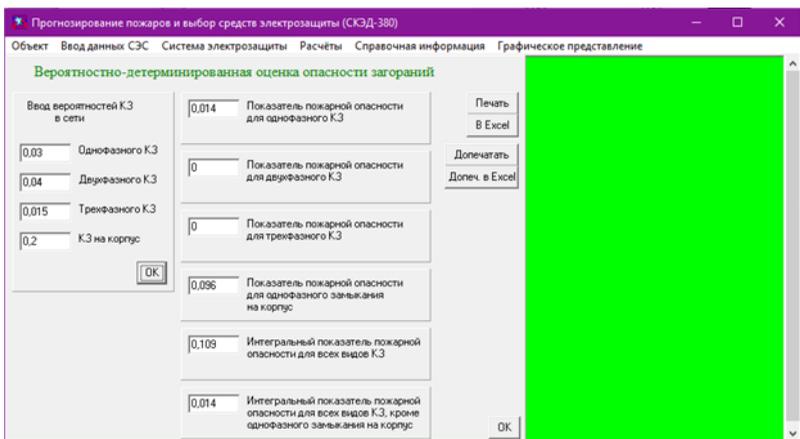


Рисунок 3.16 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

При повышении мощности силового трансформатора снижаются коэффициенты незащищенности на участках 1.1 и 1.3. Интегральный показатель пожарной опасности (0,109) уменьшается в 1,28 раза.

3.5.2 Оценка эффективности защиты при схеме соединения обмоток трансформатора «звезда – зигзаг с нулем»

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты при использовании трансформатора мощностью 250 кВА со схемой соединения обмоток «звезда – зигзаг с нулем», представлены на рисунках 3.17 – 3.20.

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Ввод данных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Расчет токов короткого замыкания

Токи однофаз. КЗ, А Токи двухфаз. КЗ, А Токи трехфаз. КЗ, А

Топологическая координата	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	5596,13	166,094	5369,39	412,407	5810,55	436,234
1.1	166,094	138,694	412,407	328,286	436,234	347,887
1.2	166,094	138,694	412,407	328,286	436,234	347,887
1.3	166,094	138,694	412,407	328,286	436,234	347,887
1.4	166,094	146,807	412,407	352,244	436,234	373,047

Вывод OK

Рисунок 3.17 – Расчетные значения токов КЗ

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Ввод данных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Длительность срабатывания аппаратов защиты

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	630,39	9999
1.1	2,5653	1524
1.2	0,01	1524
1.3	2,5653	1524
1.4	3,6916	903,52

Печать В Excel OK

Рисунок 3.18 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

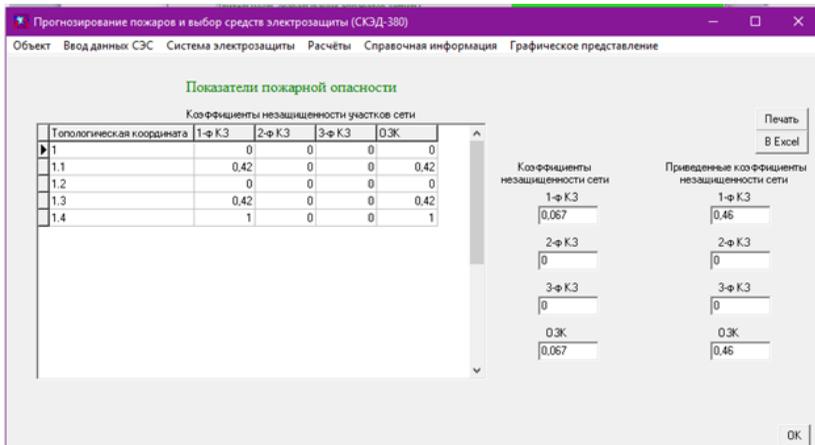


Рисунок 3.19– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

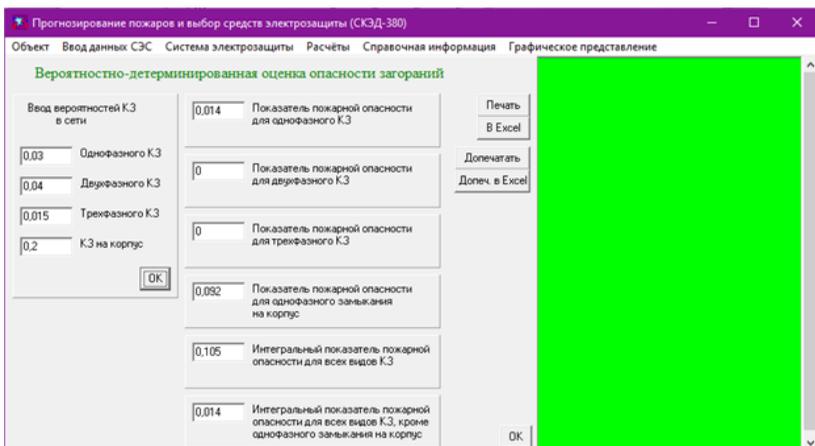


Рисунок 3.20 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Результат использования трансформатора 250 кВА со схемой соединения обмоток «звезда – зигзаг с нулем» практически полностью соответствует повышению мощности силового трансформатора. Интегральный показатель пожарной опасности (0,105) уменьшается в 1,33 раза.

3.5.3 Оценка эффективности защиты при увеличении сечения проводов воздушной линии до 35 мм²

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты, при увеличении сечения проводов воздушной линии до 35 мм² представлены на рисунках 3.21 – 3.24.

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Вводных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Расчет токов короткого замыкания

Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711.37	191.86	5665.5	541.349	6143.95	571.876
1.1	191.86	156.124	541.349	406.922	571.876	430.376
1.2	191.86	156.124	541.349	406.922	571.876	430.376
1.3	191.86	156.124	541.349	406.922	571.876	430.376
1.4	191.86	166.511	541.349	443.842	571.876	463.18

Вывод

Рисунок 3.21 – Расчетные значения токов КЗ

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Вводных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Длительность срабатывания аппаратов защиты

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	265.32	9999
1.1	0.01	771.63
1.2	0.01	771.63
1.3	0.01	771.63
1.4	2.8396	624.44

OK

Рисунок 3.22 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

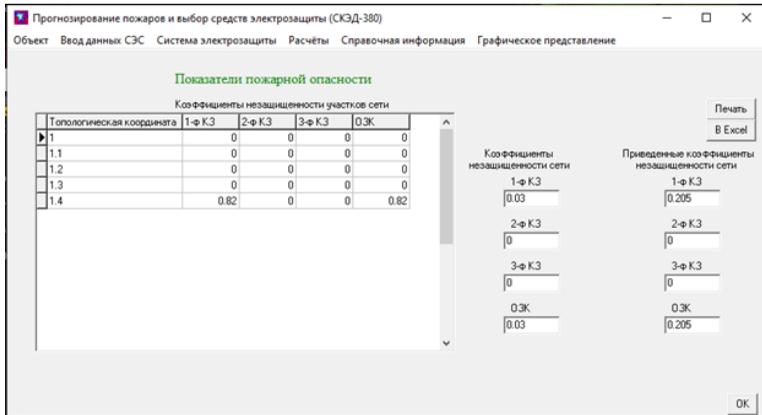


Рисунок 3.23– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

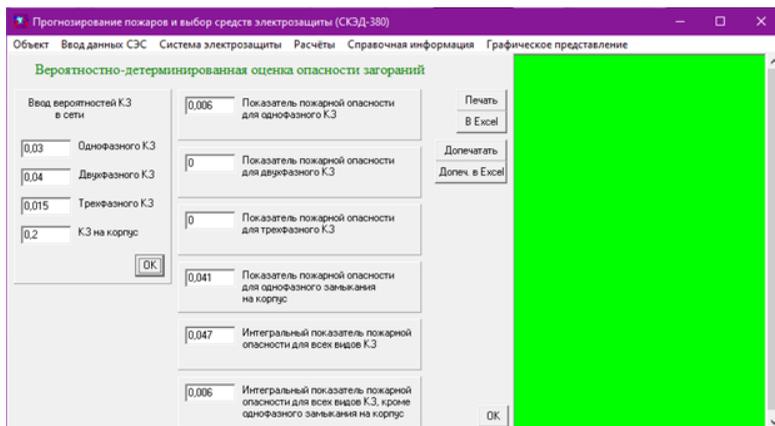


Рисунок 3.24 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Увеличение сечения проводов ВЛ до 35 мм² снижает коэффициенты незащищенности на участках 1.1, 1.2, 1.3 внутренней сети до нулевого значения. На участке 1.4 коэффициент незащищенности уменьшается с 1 до 0,82, интегральный показатель пожарной опасности (0,047) уменьшается почти в 3 раза по сравнению с исходным вариантом (0,14).

3.5.4 Оценка эффективности защиты при замене проводов воздушной линии 0,38 кВ воздушным кабелем (СИП)

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты при замене проводов воздушной линии 0,38 кВ воздушным кабелем (СИП), приведены на рисунках 3.25 – 3.28.

Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711,37	192,512	5665,5	395,325	6143,95	416,935
1.1		192,512	156,554	395,325	315,404	416,935
1.2		192,512	156,554	395,325	315,404	416,935
1.3		192,512	156,554	395,325	315,404	416,935
1.4		192,512	167	395,325	338,128	416,935

Рисунок 3.25 – Расчетные значения токов КЗ

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	256,11	9999
1.1	0,01	765,54
1.2	0,01	765,54
1.3	0,01	765,54
1.4	2,82	617,5

Рисунок 3.26 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

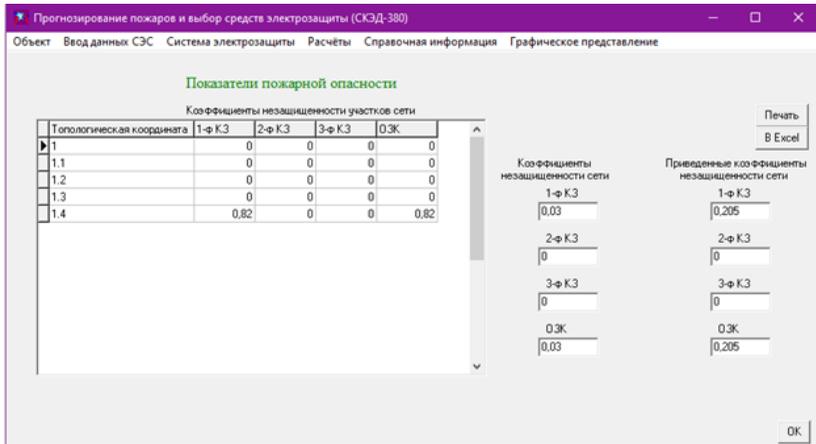


Рисунок 3.27– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

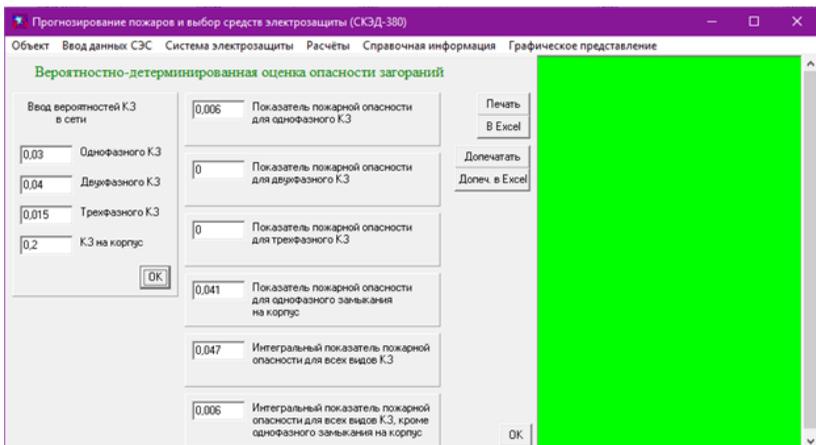


Рисунок 3.28 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Использование СИП существенно снижает пожарную опасность. Для рассмотренного варианта пожарную опасность представляют КЗ только на участке 1.4. При этом интегральный показатель пожарной опасности (0,047) уменьшается почти в 3 раза.

3.5.5 Оценка эффективности защиты при замене алюминиевой электропроводки на медную

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты, при замене алюминиевой электропроводки внутренней сети на медную при том же сечении проводов, представлены на рисунках 3.29 – 3.32.

Топологическая координата	Токи однофаз. К.З. А		Токи двухфаз. К.З. А		Токи трехфаз. К.З. А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711,37	156,431	5685,5	413,962	6143,55	437,832
1.1	156,431	140,997	413,962	359,179	437,832	380,309
1.2	156,431	140,997	413,962	359,179	437,832	380,309
1.3	156,431	140,997	413,962	359,179	437,832	380,309
1.4	156,431	145,883	413,962	375,677	437,832	397,636

Рисунок 3.29 – Расчетные значения токов КЗ

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	767,24	9999
1.1	2,4004	985,83
1.2	0,01	985,83
1.3	2,4004	985,83
1.4	3,7471	916,7

Рисунок 3.30 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

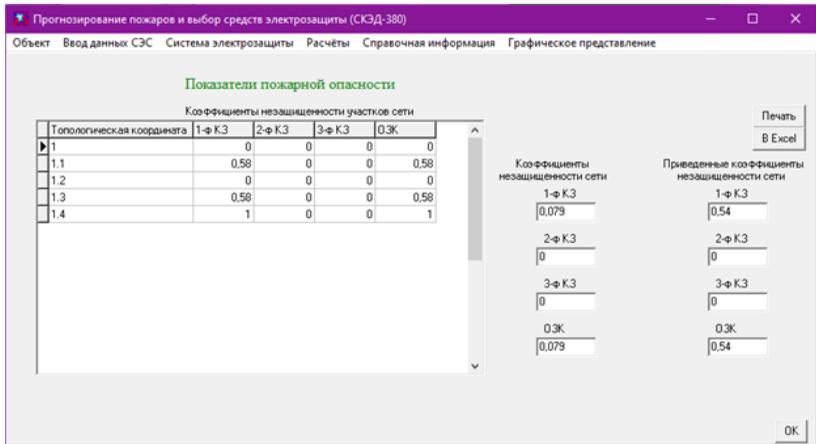


Рисунок 3.31– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

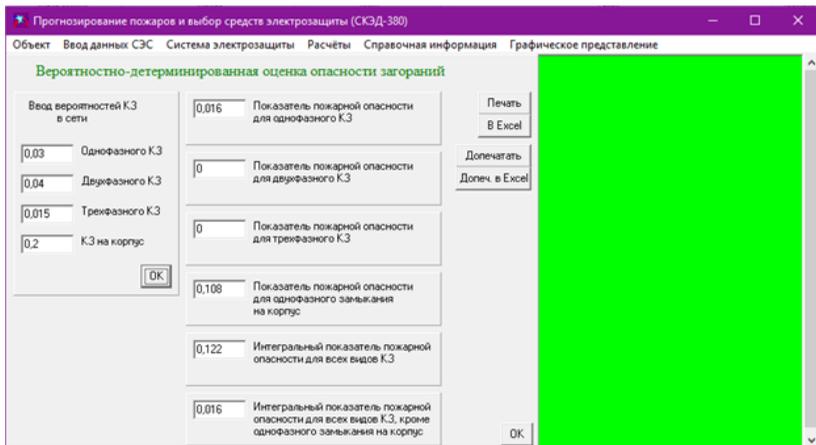


Рисунок 3.32 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Замена внутренней проводки на медную в некоторой степени снижает пожарную опасность КЗ. Однако, интегральный показатель пожарной опасности (0,122) уменьшается незначительно (в 1,15 раза).

3.5.6 Выбор рациональной совокупности мероприятий по увеличению токов короткого замыкания

Результаты оценки эффективности мероприятий по увеличению токов КЗ приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Результаты оценки технической эффективности мероприятий по повышению токов короткого замыкания

Расчетные условия	Приведенный коэффициент незащищенности сети при однофазном КЗ	Интегральный показатель пожарной опасности КЗ
Исходный вариант	0,62	0,140
Мероприятие № 1	0,48	0,109
Мероприятие № 2	0,46	0,105
Мероприятие № 3	0,205	0,047
Мероприятие № 4	0,205	0,047
Мероприятие № 5	0,54	0,122

Анализ результатов расчетов показывает, что наиболее результативными мероприятиями для снижения пожарной опасности КЗ, являются повышение сечений проводов внешней сети (мероприятие № 3) и использование СИП (мероприятие № 4). Учитывая тенденцию перехода на СИП, целесообразно предложить для рассматриваемой сети вместо воздушной линии использование СИП с одновременным повышением сечения фазных проводов.

3.5.7 Оценка эффективности защиты при использовании СИП с повышением сечения проводов

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты, при замене воздушной линии на СИП с фазными проводами сечением 35 мм² представлены на рисунках 3.33 – 3.36.

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Вводных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Расчет токов короткого замыкания

Печать
В Excel

Топологическая координата	Токи однофаз. КЗ, А		Токи двухфаз. КЗ, А		Токи трехфаз. КЗ, А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711.37	255.205	5665.5	540.946	6143.55	568.059
1.1	255.205	195.36	540.946	401.726	568.059	423.598
1.2	255.205	195.36	540.946	401.726	568.059	423.598
1.3	255.205	195.36	540.946	401.726	568.059	423.598
1.4	255.205	212	540.946	439.326	568.059	462.674

Выход OK

Рисунок 3.33 – Расчетные значения токов КЗ

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Вводных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Длительность срабатывания аппаратов защиты

Печать
В Excel

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервированной АЗ
1	86.36	9999
1.1	0.01	215.73
1.2	0.01	215.73
1.3	0.01	215.73
1.4	0.01	135.6

OK

Рисунок 3.34 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

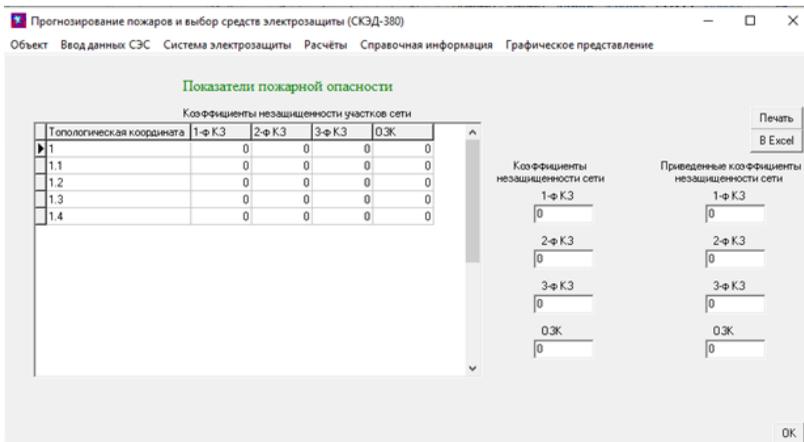


Рисунок 3.35– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

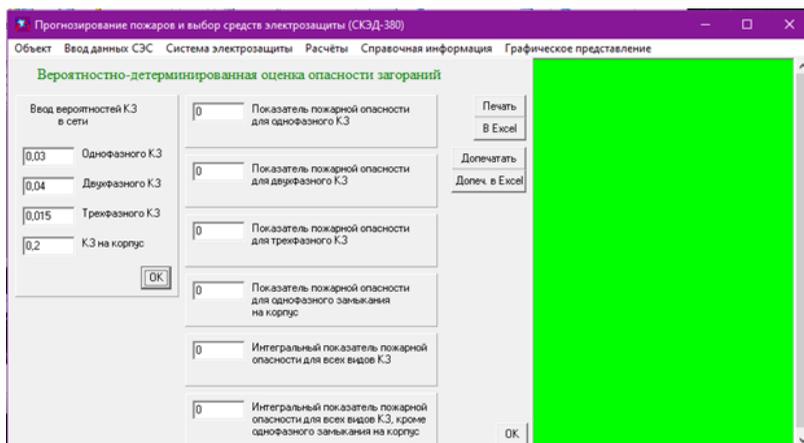


Рисунок 3.36 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Анализ результатов расчетов показывает, что использование СИП с повышением сечения фазных проводов на одну ступень обеспечивает высокую степень снижения пожарной опасности. Коэффициенты незащищенности внутренней сети и интегральный показатель пожарной опасности снижаются до нулевых значений.

3.6 Оценка эффективности защиты предохранителями ПР-2 при реализации мероприятий по увеличению токов короткого замыкания

Результаты расчетов показателей, характеризующих эффективность электрической защиты, при замене воздушной линии на СИП с фазными проводами сечением 35 мм² представлены на рисунках 3.37 – 3.40.

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Ввод данных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Расчет токов короткого замыкания

Печать В Excel

Топологическая координата	Токи однофаз. К.З. А		Токи двухфаз. К.З. А		Токи трехфаз. К.З. А	
	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
1	1711.37	295.205	5665.5	540.946	6143.95	568.059
1.1	295.205	212	540.946	439.326	568.059	462.674
1.2	295.205	195.36	540.946	401.726	568.059	423.598
1.3	295.205	212	540.946	439.326	568.059	462.674
1.4	295.205	227.298	540.946	475.035	568.059	499.746

Выход OK

Рисунок 3.37 – Расчетные значения токов КЗ

Прогнозирование пожаров и выбор средств электрозащиты (СКЭД-380)

Объект Ввод данных СЭС Система электрозащиты Расчёты Справочная информация Графическое представление

Длительность срабатывания аппаратов защиты

Печать В Excel

Топологическая координата	Ближайший АЗ	Резервирующий АЗ
1	86.36	9999
1.1	0.554	135.6
1.2	0.24856	215.73
1.3	0.554	135.6
1.4	3.5058	117.24

OK

Рисунок 3.38 – Расчетные значения времени срабатывания аппаратов защиты

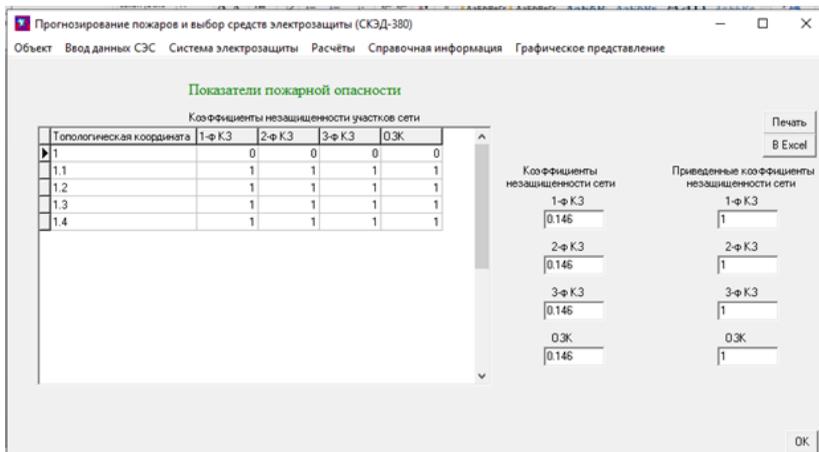


Рисунок 3.39– Результаты расчета коэффициентов незащищенности электрической сети

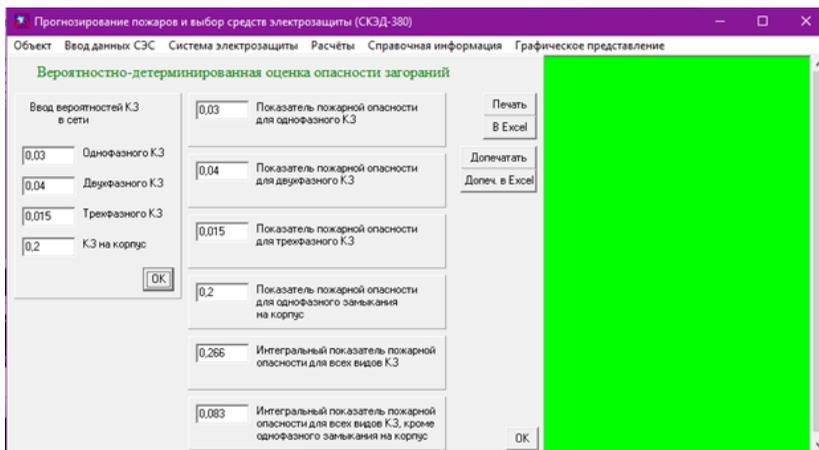


Рисунок 3.40 – Результаты расчета показателей пожарной опасности коротких замыканий

Анализ результатов расчетов показывает, что использование СИП с повышением сечения фазных проводов на одну ступень повышает эффективность защиты рассматриваемого объекта предохранителями ПР-2 за счет снижения времени срабатывания (рисунки 3-38). Для линии 1.2 это время соответствует нормативному (0,4 с), а для линий 1.1 и 1.3 – приближается к нему (0,55 с). Снижено также время срабаты-

вания защиты на линии 1.4 (3,5 с) по сравнению с исходным вариантом (8,2 с). В то же время коэффициенты незащищенности внутренней сети (1 на всех участках) не снижаются по сравнению с исходным вариантом. Остается неизменным и интегральный показатель пожарной опасности (0,266).

Таким образом, рассмотренные мероприятия по увеличению токов КЗ не снижают пожарной опасности коротких замыканий, а для решения проблемы требуется проведение других мероприятий, например, повышение сечений проводов внешней сети на несколько ступеней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате оценки показателей пожарной опасности КЗ для исходного варианта системы электроснабжения установлена низкая эффективность защиты внутренней сети автоматическими выключателями ВА 61F29-3С.

Более чувствительные выключатели с характеристикой типа **В** существенно повышают эффективность защиты, однако, при наличии динамической нагрузки использование таких выключателей приводит к неоднозначному результату и в некоторых случаях может не только не улучшать, но и ухудшать эффективность защиты. В частности, для рассмотренной электрической сети обеспечивается нормативное время срабатывания защиты на участках 1.1, 1.2, 1.3, однако защита линии 1.4 еще менее эффективна, чем для выключателя ВА 61F29-3С, так как время срабатывания увеличивается с 4,15 с до 9,16 с. В общем случае решение о возможности применения выключателей с характеристикой типа **В** должно базироваться на результатах уточнения параметров сети и оценки расчетного времени срабатывания при однофазных КЗ.

В наименьшей степени снижается пожарная опасность КЗ при защите предохранителями ПР-2. Интегральный показатель пожарной опасности почти в 2 раза выше, чем при защите выключателями с характеристикой типа **С**.

Наиболее результативными мероприятиями для снижения пожарной опасности КЗ при использовании в рассматриваемой сети выключателей ВА 61F29-3С являются повышение сечений проводов внешней сети и использование СИП. Комбинация этих мероприятий с повышением сечения фазных проводов на одну ступень обеспечивает снижение коэффициентов незащищенности внутренней сети и интегрального показателя пожарной опасности до нулевых значений.

В то же время рассмотренные мероприятия по увеличению токов КЗ не снижают пожарной опасности коротких замыканий при защите внутренней сети предохранителями ПР-2. Для решения проблемы требуются другие технические решения, например, повышение сечений проводов внешней сети на несколько ступеней.

Для головной защиты (выключатель ВА 57Ф35) условия надежного срабатывания при однофазных КЗ в конце участка 1 не выполняются даже после проведения комплекса мероприятий по увеличению токов КЗ. Поэтому необходимо применять дополнительные меры, например, использовать реле, включенное в рассечку нулевого провода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elec.ru/library/direction/pteep/>.
2. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.
3. Правила устройства, эксплуатация и безопасность электроустановок: нормативно-технический сборник/ О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, В.С. Германенко и др. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – 840 с.
4. Сошников, А. А. Перспективные направления улучшения функциональных показателей систем сельского электроснабжения / А. А. Сошников, Б.С. Компанец // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орел / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2015. – С. 50 -53.
5. 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 // Достижения науки и техники АПК. – 2017. Т. 31. № 3, С. 54-57.
6. Куликова Л. В. Основы электромагнитной совместимости: учебник для вузов, /Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников. – Изд. 4-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 404 с. ISBN 978-5-4499-1175-9.
7. Сошников, А. А. Расчет показателей эффективности электрической защиты в сетях 0,38 кВ при регулировании уровня токов короткого замыкания: методические указания к практическим занятиям и расчетные задания по дисциплине «Технические системы обеспечения безопасности электроустановок» для магистрантов направления 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» /А. А. Сошников, Б. С. Компанец; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. - 55 с. – Режим доступа: http://new.elib.altstu.ru/eum/download/epb/Soshnikov_rpez.pdf. – Загл. с экрана.
8. Сошников, А. А. Автоматизированная оценка эффективности электрической защиты от коротких замыканий в сетях 0,38 кВ АПК: методические указания к практическим занятиям и расчетные задания

по дисциплине «Технические системы обеспечения безопасности электроустановок» /А. А. Сошников, Б. С. Компанеец; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 61 с. — Режим доступа: http://new.elib.altstu.ru/eum/download/epb/Soshnikov_oez.pdf.

9. Сошников, А. А. Принципы построения эффективной защиты от коротких замыканий в сетях 0,38 кВ АПК: учебно-методическое пособие по дисциплине «Технические системы обеспечения безопасности электроустановок» [Электронный ресурс]/А. А. Сошников, Б. С. Компанеец; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 105 с. - Режим доступа: <http://new.elib.altstu.ru/eum/download/epb/Soshnikov>

Приложение А
Исходные данные к расчетному заданию

Таблица А.1- Возможные варианты исходных данных для выполнения расчетного задания

№ варианта	Мощность трансформатора, кВА	Длина ВЛ, м	Протяженность электропроводки, м	Мощность нагрузки, кВт			
				Е _к	М ₁	М ₂	М ₃
1	100	300	15	8,5	3	5,5	4
2	160	300	30	15	5,5	4	4
3	250	350	15	12	4	5,5	3
4	100	325	15	10	5,5	4	5,5
5	100	250	30	11	4	3	5,5
6	250	300	30	8,5	3	5,5	4
7	250	350	15	10	5,5	4	3
8	100	325	15	12	5,5	3	4
9	160	350	15	12	5,5	4	5,5
10	250	375	15	15	5,5	4	5,5
11	100	225	30	15	3	5,5	5,5
12	250	275	30	11	5,5	3	4
13	100	200	30	10	4	5,5	5,5
14	100	275	15	10	5,5	5,5	4
15	160	300	30	8,5	4	5,5	3
16	160	325	15	10	5,5	3	5,5
17	100	325	15	11	5,5	4	3
18	250	325	30	10	4	5,5	4
19	250	200	30	15	5,5	4	5,5
20	100	225	30	15	5,5	3	4
21	250	300	15	12	3	5,5	5,5
22	160	225	30	11	3	5,5	4

Таблица А.2 – Значения допустимого тока для алюминиевой электропроводки, выполненной трехжильным проводом и тремя одножильными проводами, проложенными в трубе

Сечение жилы, мм ²	Допустимый ток для трехжильного провода, А	Допустимый ток для трех одножильных проводов, А
4	21	28
6	26	32
10	38	47
16	55	60
25	65	80

Примечание. При сечениях: 4 мм², 6 мм², 10 мм² рекомендуется принимать трехжильный провод, а при сечениях 10 мм² и более допускается использовать три одножильных провода.

Учебное издание

Сошников Александр Андреевич,
Титов Евгений Владимирович

**ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ
НА ОБЪЕКТАХ АПК С УЧЕТОМ ПОЖАРНОЙ
ОПАСНОСТИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ**

Учебно-методическое пособие

Издано в авторской редакции

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

[В начало](#)