

4. Расчётная часть

4.1. Общие положения

Марка и сечение кабеля данного класса напряжения выбирается и проверяется по 4 условиям, предусмотренным в нормативно-технической документации и литературе:

1. Выбор сечения кабеля по нагреву. Кабели должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом нормальных и послеаварийных режимов. Условие: $I_{д.т.} > I_p$, где $I_{д.т.}$ - допустимый длительный ток для кабелей (ПУЭ, 6 изд., гл. 1.3), А; I_p - расчетный ток нагрузки.
2. Проверка сечения по экономической плотности тока. Условие: $S_{выб} > S_{эк}$, где $S_{выб}$ - предварительно выбранное сечение кабеля по 1 условию, $мм^2$; $S_{эк}$ - экономически целесообразное сечение (ПУЭ, 6 изд., п. 1.3.25), $мм^2$.
3. Проверка сечения кабеля на термическую устойчивость к действию токов короткого замыкания. Условие: $S_{выб} > S_{min}$, где $S_{выб}$ - предварительно выбранное сечение кабеля по 1 и 2 условиям, $мм^2$; S_{min} - минимально допустимое сечение кабеля по термической устойчивости, $мм^2$.
4. Проверка по потере напряжения. Условие: $\Delta U > \Delta U_p$, где ΔU - нормативное значение потери напряжения, ΔU_p - расчетное значение потери напряжения.

Из вышеперечисленных условий выбирается то, которое является самым требовательным.

4.2. Исходные данные и результаты расчётов

4.2.1. Исходные данные

В соответствии с техническим заданием проектируемые кабельные врезки предназначены для электропитания от КТП «Наплатинская» с 1 силовым трансформатором на 400кВА ВЛ-0,4кВ №1. КТП обеспечивает электроснабжение жилого массива и уличное освещение.

Время работы КЛ 24 часа в сутки. Продолжительность потребления 8760 ч. В соответствии с техническим заданием кабели выбраны марки АСБ2л, проложенные в земле. По данным полученным от сетевой организации 3х фазный ток короткого замыкания на шинах ПС №48 $I_{кз\ max} = 5292A$ $I_{кз\ min} = 4578A$. Время срабатывания защиты линии $t_d = 1,5$ секунды.

В п.2.5 Пояснительной записки определено:

- по ф.2.3. расчётная нагрузка на шинах РУ-0,4кВ КТП «Наплатинская» от силовой части ВЛ-0,4кВ №2 $S_{расч.л.} = 60,3кВА$;
- по ф.2.4. расчётная нагрузка на шинах РУ-0,4кВ КТП «Наплатинская» от уличного освещения (светильников установленных на опорах ВЛ-0,4кВ №1) $S_{расч.л.} = 3,53кВА$;
- по ф.2.6. расчётный ток линии электроснабжения ВЛ-0,4кВ №1 $I_{расч.л.} = 100,9A$;
- по ф.2.10. максимальный (пусковой) ток линии уличного освещения $I_{пуск.УО} = 54A$.

4.2.2. Расчет токов короткого замыкания

С учётом изменений связанных с реконструкцией рассматриваемой системы электроснабжения выполнены проверочные расчёты токов трёхфазного к.з. на стороне 10кВ, приведенные на листе 3 графического материала шифр 4710028255-013-ЭС-ГМ.

					4710028255-013-ЭС-ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Цель расчёта – определение токов короткого замыкания на высокой и низкой стороне проектируемой трансформаторной подстанции для проверки выбранного оборудования на действие токов короткого замыкания.

Для ограничения размеров аварии необходимо сократить время протекания токов к.з. Эту задачу выполняют с помощью предохранителей, электромагнитных расцепителей, автоматических выключателей и быстродействующей релейной защиты с действием на отключение без выдержки времени.

Существуют одно-, двух-, трехфазные к.з. Трехфазные к.з. - это симметричные к.з., при которых, напряжение, ток и сопротивления равны. Это наиболее опасное к.з. Расчетные токи трехфазного к.з. используются для проверки выбранного оборудования и для расчета релейной защиты.

Расчет токов короткого замыкания производится для трех случаев: в системе с неограниченной мощностью $S_c = \infty$, в системе с ограниченной мощностью $S_c \neq \infty$ и в установках с напряжением до 1000 В.

4.2.3. Расчёт токов короткого замыкания для линий до 1000В

Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4кВ проводим в соответствии с РД 153-34.0-20.257-98, используя расчётную схему (рис.1.) и схему замещения (рис.2.) отдельно для линий электроснабжения и уличного освещения.

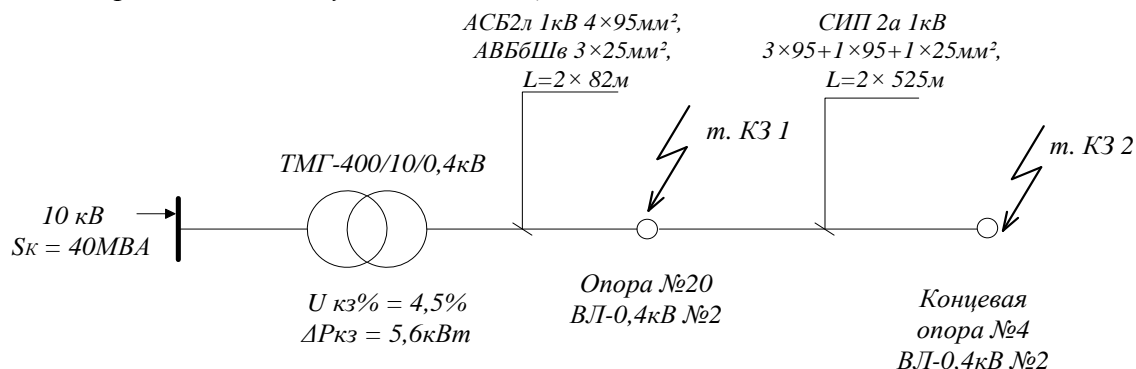


Рис.1. Расчётная схема токов к.з. линии КВЛЭП-0,4кВ

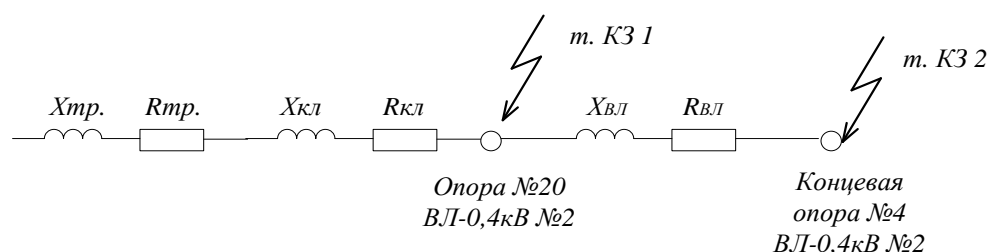


Рис. 2. Схема замещения для расчёта токов к.з. линии КВЛЭП-0,4кВ

Расчёты проводим для токов одно- и трёхфазного короткого замыкания, используя формулы:

$$4.1. \quad I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \times Z_{к}}, \text{ кА},$$

где: $U_{л}$ - линейное номинальное напряжение сети в точке к.з., кВ;

$Z_{к}$ – полное сопротивление до точки к.з., Ом.

$$4.2. \quad I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \text{кА},$$

где: $U_{\text{кф}}$ - фазное напряжение сети в точке к.з., кВ;

$Z_T^{(1)}/3$ - полное сопротивление обмоток трансформатора, при соединении обмоток по схеме Δ/Y с выведенным нулем для трансформатора марки ТМГ-400/10/0,4, применяемом на КТП «Наплатинская» равное 0,019 Ом;

Z_n - полное сопротивление петли фаза-нуль до точки к.з., Ом.

В рабочем проекте реконструкции участка ВЛ-0,4кВ от ТП-79 шифр ГС-010424-044-ЭС.Т1 в качестве проводника выбран самонесущий изолированный провод СИП 2а сечением $3 \times 95 + 1 \times 25 \text{ мм}^2$. Проводники сечением 95 мм^2 используются для электроснабжения жилых домов и сечением 25 мм^2 для нужд уличного освещения. Поэтому предварительно принимаем для выполнения кабельных вставок кабели с соответствующими сечениями токоведущих жил со следующими параметрами:

- активное сопротивление жилы кабеля сечением 95 мм^2 0,329 Ом/км;
- реактивное (индуктивное) сопротивление кабеля сечением 95 мм^2 0,0602 Ом/км;
- активное сопротивление жилы кабеля сечением 25 мм^2 1,25 Ом/км;
- реактивное (индуктивное) сопротивление кабеля сечением 25 мм^2 0,0662 Ом/км.

Для точки к.з. I сопротивление линии электроснабжения, с учётом сопротивления трансформатора и токи к.з. составят:

$$R_{\text{эснI}} = R_{\text{тр}} + R_{95} \times l_1 = 5,6 + 0,329 \times 0,082 = 5,627 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{эснI}} = X_{\text{тр}} + X_{95} \times l_1 = 17,12 + 0,0602 \times 0,082 = 17,125 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{кэснI}} = \sqrt{(R_{\text{эснI}})^2 + (X_{\text{эснI}})^2} = \sqrt{(5,627)^2 + (17,125)^2} = 18,026 \text{ мОм};$$

$$I_{\text{к.з.эснI}}^{(3)} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} \times Z_{\text{кэснI}} = 400 / 1,73 \times 18,026 = 12,83 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к.з.эсн}}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{U_{\text{кф}}}{2 \sqrt{(R_{95} \times l_1)^2 + (X_{95} \times l_1)^2} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} =$$

$$= \frac{230}{2 \times \sqrt{(0,329 \times 0,082)^2 + (0,0602 \times 0,082)^2} + 0,019} = 4,95 \text{ кА}.$$

Для точки к.з. I сопротивление линии уличного освещения, с учётом сопротивления трансформатора и токи к.з. составят:

$$R_{\text{уолI}} = R_{\text{тр}} + R_{25} \times l_1 = 5,6 + 1,25 \times 0,082 = 5,703 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{уолI}} = X_{\text{тр}} + X_{25} \times l_1 = 17,12 + 0,0662 \times 0,082 = 17,126 \text{ мОм}.$$

$$Z_{\text{к.уолI}} = \sqrt{(R_{\text{уолI}})^2 + (X_{\text{уолI}})^2} = \sqrt{(5,703)^2 + (17,126)^2} = 18,051 \text{ мОм};$$

$$I_{\text{к.з.уолI}}^{(3)} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} \times Z_{\text{к.уолI}} = 400 / 1,73 \times 18,051 = 12,81 \text{ кА};$$

$$I_{к.з.уо}^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{U_{кф}}{\frac{\sqrt{((R_{95} + R_{25}) \times l_1)^2 + (X_{25} + X_{95}) \times l_1)^2}}{230} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} =$$

$$= \frac{230}{\sqrt{((0,329 + 1,25) \times 0,082)^2 + ((0,0602 + 0,0662) \times 0,082)^2 + 0,019}} = 1,543 \text{ кА.}$$

Для точки к.з. 2 сопротивление линии электроснабжения, с учётом сопротивления трансформатора и токи к.з. составят:

$$R_{эсн2} = R_{мп} + R_{95} \times l_1 + R_{95} \times l_2 = 5,6 + 0,329 \times 0,082 + 0,329 \times 0,525 = 5,8 \text{ мОм;}$$

$$X_{эсн2} = X_{мп} + X_{95} \times l_1 + X_{95} \times l_2 = 17,12 + 0,0602 \times 0,082 + 0,0602 \times 0,525 = 17,16 \text{ мОм;}$$

$$Z_{кэсн2} = \sqrt{(R_{эсн2})^2 + (X_{эсн2})^2} = \sqrt{(5,8^2 + 17,16^2)} = 18,114 \text{ мОм;}$$

$$I_{к.з.эсн1}^{(3)} = U_{л} / \sqrt{3} \times Z_{кэсн1} = 400 / 1,73 \times 18,114 = 12,764 \text{ кА;}$$

$$I_{к.з.эсн}^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{U_{кф}}{\frac{2\sqrt{(R_{95} \times (l_1 + l_2))^2 + (X_{95} \times (l_1 + l_2))^2}}{230} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} =$$

$$= \frac{230}{2 \times \sqrt{(0,329 \times (0,082 + 0,525))^2 + (0,0602 \times (0,082 + 0,525))^2 + 0,019}} = 1,036 \text{ кА.}$$

Для точки к.з. 2 сопротивление линии уличного освещения, с учётом сопротивления трансформатора и токи к.з. составят:

$$R_{уо2} = R_{мп} + R_1 \times l_1 + R_1 \times l_2 = 5,6 + 1,25 \times 0,082 + 1,25 \times 0,525 = 6,359 \text{ мОм;}$$

$$X_{уо2} = X_{мп} + X_1 \times l_1 + X_1 \times l_2 = 17,12 + 0,0662 \times 0,082 + 0,0662 \times 0,525 = 17,16 \text{ мОм;}$$

$$Z_{к.уо2} = \sqrt{(R_{уо2})^2 + (X_{уо2})^2} = \sqrt{(6,359^2 + 17,16^2)} = 18,3 \text{ мОм;}$$

$$I_{к.з.уо2}^{(3)} = U_{л} / \sqrt{3} \times Z_{к.уо2} = 400 / 1,73 \times 18,3 = 12,64 \text{ кА;}$$

$$I_{к.з.уо2}^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{U_{кф}}{\frac{\sqrt{(R_{25} \times (l_1 + l_2))^2 + (X_{25} \times (l_1 + l_2))^2} + \sqrt{(R_{95} \times (l_1 + l_2))^2 + (X_{95} \times (l_1 + l_2))^2}}{230} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} =$$

$$= \frac{230}{\sqrt{(1,25 \times (0,082 + 0,525))^2 + (0,0662 \times (0,082 + 0,525))^2} + \sqrt{(0,329 \times (0,082 + 0,525))^2 + (0,0602 \times (0,082 + 0,525))^2} + 0,019}} = 234,2 \text{ А.}$$

В разделе 2, п.2.6. настоящей Пояснительной записки были проведены расчёты и предварительно предложены к установке аппараты защиты проектируемых кабельных линий. В частности для защиты линии электроснабжения жилых домов принят плавкий предохранитель марки ППНИ-35 габарит 1 с номинальным током вставки 125А. Для защиты линии уличного освещения плавкий предохранитель марки ППНИ-35 габарит 1 с

номинальным током вставки 63А. Проведённые расчёты токов однофазного короткого замыкания для этих линий подтвердили правильность выбора номиналов вставок, а именно:

$$\frac{I_{кз.эсн2}^{(1)}}{I_{вст.ном.}} = \frac{1036}{125} = 8,288 > 3, \quad \frac{I_{кз.уо2}^{(1)}}{I_{вст.ном.}} = \frac{234,2}{63} = 3,72 > 3.$$

Анализ время-токовых характеристик предохранителей ППНИ показал, что при полученных расчётных значениях токов однофазного короткого замыкания, предохранитель защиты линии электроснабжения жилых домов отработает за время не превышающее в точке к.з. 1 $t_1=0,01$ сек., а в точке к.з. 2 $t_1=0,4$ сек., на линии уличного освещения точке к.з. 1 $t_1=0,01$ сек., а в точке к.з. 2 $t_1=0,3$ сек. Указанные значения соответствуют требованиям по срабатыванию защитного отключения приведенным в таблице 1.7.1 п.1.7.79 седьмого издания ПУЭ. Для системы TN при номинальном фазном напряжении 220В время отключения не должно превышать 0,4сек.

4.2.4. Расчёты и выбор кабелей для строительства врезки в ВЛ-0,4кВ №2

1. Расчетные токи нагрузки на РУ-0,4 кВ КТП «Наплатинская»

Как показали расчёты в п.2.6, нагрузка на шины РУ-0,4кВ КТП «Наплатинская» от ВЛ-0,4кВ №2 будет составлять 63,8 кВА. При этом, расчётные токи на проектируемые кабельные линии (врезки) составит:

- для линии электроснабжения жилых домов $I_{расч. эсн.} = 100,9$ А;
- для линии уличного освещения $I_{расч. уо.} = 54$ А.

Учитывая тот факт, что предварительно сечения кабелей для выполнения врезок выбраны 95 мм² и 25мм², проводим дальнейшие изыскания. В соответствии с техническим заданием, марка кабеля, предлагаемого к применению для электроснабжения жилых домов, АСБ2л 4×95мм² на 1кВ. Согласно ПУЭ таблица №. 1.3.16 допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и не стекающими массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле составляет $I_{д.т.} = 240$ А при прокладке в земле.

$I_{д.т.} > I_p$, 240 А $> 100,9$ А, первое условие для кабеля этой врезки выполнено.

Для строительства врезки кабельной линии на уличное освещение выбираем кабель марки АВБШв 3×25мм². Согласно ПУЭ таблица №. 1.3.7 допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией в свинцовой или полихлорвиниловой оболочке, бронированных, прокладываемых в земле составляет $I_{д.т.} = 115$ А при прокладке в земле.

$I_{д.т.} > I_p$, 115 А > 54 А, первое условие для кабеля этой врезки также выполнено.

2. Проверка сечения кабеля АСБ2л 4×95мм² по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение $S_{эк}$, мм², определяется из соотношения (ПУЭ п.1.3.25):

$$\text{- для ЭСН жилых домов } S_{эк} = \frac{I_{расч.}}{J_{эк}} = \frac{100,9}{1,2} = 84,1 \text{ мм}^2,$$

$$\text{- для уличного освещения } S_{эк} = \frac{I_{расч.}}{J_{эк}} = \frac{25,6}{1,6} = 16 \text{ мм}^2,$$

где : I_p – расчётный ток в час максимума энергосистемы, А;

$J_{эк}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36 ПУЭ и равное 1,2 А/мм² и 1,6А/мм².

					4710028255-013-ЭС-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Сечение, полученное в результате указанного расчёта, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчётный ток принимается для нормального режима работы, т.е. увеличение тока в аварийных и ремонтных режимах сети не учитывается.

Для линии ЭСН жилых домов $S_{\text{выб}} > S_{\text{эк}}$ в данном случае $95 \text{ мм}^2 > 84,1 \text{ мм}^2$, второе условие выполнено.

Для линии уличного освещения $S_{\text{выб}} > S_{\text{эк}}$ в данном случае $25 \text{ мм}^2 > 16 \text{ мм}^2$, второе условие также выполнено.

3. Проверка сечения кабелей на термическую устойчивость к действию токов короткого замыкания в точке к.з. I (как с наиболее тяжелыми условиями аварийной нагрузки):

$$S_{\min} = \frac{I_{\text{кз}}^{(3)}}{C} \cdot \sqrt{t_l},$$

где: S_{\min} - минимально допустимое сечение жилы кабеля, мм^2 ;

$I_{\text{кз}}^{(3)}$ - максимальный ток 3-фазного к.з., А в точке к.з. №1 КВЛЭП ;

t_l - время срабатывания защиты для обеих линий, 0,01 сек;

C - коэффициент для кабеля с алюминиевой жилой до 10 кВ (АСБ2л) принимается равным 90 и 65 для кабеля с алюминиевой жилой и поливинилхлоридной изоляцией (АВББШв) .

$$S_{\min} = \frac{12830}{90} \times \sqrt{0,01} = 14,3 \text{ мм}^2 ;$$

$$S_{\min} = \frac{12830}{65} \times \sqrt{0,01} = 19,7 \text{ мм}^2$$

$S_{\text{выб}} > S_{\min}$, $95 \text{ мм}^2 > 14,3 \text{ мм}^2$ и $25 \text{ мм}^2 > 19,7 \text{ мм}^2$, третье условие выполнено.

Выбранные для прокладки кабеля термически устойчивы к действию токов короткого замыкания.

4. Проверка по потере напряжения

Потеря напряжения в сети трехфазного тока одна нагрузка в конце линии (линия ЭСН жилых домов):

$$\Delta U = \frac{I}{U_n \times \cos \varphi} \times (R_0 \times \cos \varphi + X_0 \times \sin \varphi) \times \sum_1^n P_m \times l_m ;$$

где

ΔU - потеря напряжения, % ;

U_n - номинальное линейное напряжение, кВ;

P_m , Q_m – активная, кВт, и реактивная, кВАр, расчётные мощности в линии на участке m ;

R_0 , X_0 – активное и реактивное сопротивление проводников на единицу длины линии, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности на вторичной обмотке питающего трансформатора;

$\sin \varphi$ – синус, соответствующий $\cos \varphi$;

l_m – длина линии на участке m , км.

l - длина линии, км.

					4710028255-013-ЭС-ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Подставляя численные значения получаем:

$$\Delta U = \frac{1}{0,4} \times (0,329 \times 0,92 + 0,0602 \times 0,39) \times 63,8 \times 0,082 = 4,3В;$$

$$\Delta U = \frac{4,3}{400} \times 100 = 1,075\%$$

С учётом расчётов проведенных в проекте реконструкции ВЛ-0,4кВ шифр ГС-010424-044-ЭС.Т1. сумма потерь напряжения на конце линии ЭСН жилых домов составит: $\Delta U_{\text{общ.}} = 1,44 + 1,075 = 2,52\%$.

Расчёт для линии уличного освещения проведем с учётом того, что эта линия получает однофазное питание:

$$\Delta U\% = (\sqrt{3} \times 10^2 / U_{\text{ном.}}) \times I_{\text{расч.УО}} \times l \times (R_0 \times \cos\varphi + X_0 \times \sin\varphi) =$$

$$(1,73 \times 10^2 / 230) \times 25,6 \times 0,082 (1,25 \times 0,92 + 0,0662 \times 0,39) = 1,95\%$$

В результате: $2,52\% < 5\%$ и $1,95\% < 5\%$ то есть потери в линиях не превышают 5%, четвертое условие выполнено. В итоге получаем окончательные сечения кабелей питающих ВЛ-0,4 кВ №1 от КТП «Наплатинская» 95 мм^2 для линии ЭСН жилых домов и 25 мм^2 для линии уличного освещения. И в данном случае определяющим для выбора явилось третье условие.

					4710028255-013-ЭС-ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		