

АННОТАЦИЯ

Данная выпускная квалификационная работа предназначена для расчета системы электроснабжения металлургического производства «ОАО Волгоцеммаш» с целью реконструкции в связи с изменением технологического процесса. В ходе выполнения работы, был произведен анализ электрических нагрузок, функционирующих на напряжении до 1 кВ.

Произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок по цеху, в том числе, от системы освещения. Выбрано число и мощность силовых трансформаторов трансформаторных подстанций с учетом применения компенсирующих устройств реактивной мощности. Выбрана схема, защитная аппаратура и кабельные линии для внутрицехового электроснабжения.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе выполнена на 67 листах формата А4 и содержит 10 рисунков, 9 таблиц, список использованных источников из 20 наименований.

Графическая часть представлена на 6 чертежах формата А1.

ABSTRACT

This graduation work deals with «Volgocem mash» JSC and its metallurgical production department. The goods produced at this factory are in demand in Russia and foreign countries such as Finland, Turkey, India, Iran, Hungary, Ethiopia and others (28 countries in total).

The aim of the work is to give information about reconstruction of the electrical power supply system of metallurgical department at «Volgocem mash» JSC.

We first discuss the necessity of reconstruction of the production process due to changes in technological process. We also discuss the equipment taken out of service in technological process and make a summary spreadsheet of all operating equipment.

To choose a new electrical power supply system and for reconstruction purposes we make a summary spreadsheet for the current power load based on which we choose solutions according to all modern standards in the area of energy security and energy efficiency. We also discuss the reconstruction of the steel foundry №1 in details.

The special part of the project gives specific details about calculating the lighting load and the process of choosing modern light emitting diodes for the steel foundry №1 based on the energy efficiency and conventional norms of lighting. Based on the summary spreadsheet of expected electric load (taking into account the lighting system) we choose converters for transforming substations and power-factor correction units for them. We conduct a technical-economic calculation, choose protective equipment and conductors for cable lines and bus bars for the electric supply system of the foundry. We also look into the grounding electrode system according to all staff safety norms.

The graduation project consists of an explanatory note on 67 pages, including 10 pictures, 9 tables, the list of 20 references and the graphic part on 6 A1 sheets.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Характеристика металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш»	6
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок металлургического производства	12
2.1 Приведение электроприемников к трехфазному долговременному режиму работы	12
2.2 Расчет электрических нагрузок освещения	16
2.3 Составление сводной ведомости нагрузок металлургического производства	18
3 Выбор мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций и компенсирующих устройств	23
4 Предварительный выбор электрооборудования и проводников	30
5 Расчет токов короткого замыкания	38
5.1 Расчет параметров схемы замещения ТП1	39
5.2 Расчет токов короткого замыкания ТП1	44
5.3 Расчет параметров схемы замещения ТП2	48
5.4 Расчет токов короткого замыкания ТП2	53
6 Проверка элементов сети металлургического производства	57
7 Система заземления и молниезащиты	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	66

ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения металлургического производства машиностроительного завода является неотъемлемой частью в технологическом процессе данного производства. Эффективность производства и качество его продукции напрямую зависит от качества и надежности средств производства, которые, в свою очередь, зависят от качества и надежности электроэнергии.

Машиностроительные заводы пользуются большим спросом на территории страны и постоянно совершенствуются, закупая новое оборудование и улучшая технологию производства. Сталелитейный цех является одним из самых важных предприятий в металлургическом производстве.

Научно-технический прогресс предполагает непрерывное совершенствование производственного процесса, поэтому система электроснабжения производства должна быть гибкой. Необходимо производить расчет, допуская развитие технологий, возможный рост предприятия и изменение производственных условий. Так же необходимо произвести расчет системы электроснабжения с точки зрения экономической выгоды.

Система электроснабжения металлургического производства должна обеспечивать бесперебойное питание потребителей в рамках данного цеха. При перерыве в питании электроприемников будет нарушен производственный процесс, качество изготавливаемых деталей будет нарушено, так же произойдет порча заготовок для литья и возможен выход оборудования из строя.

1 Характеристика металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш»

ОАО «Волгоцеммаш» - это уникальное предприятие тяжёлого машиностроения, являющееся лидером по производству цементного оборудования России и ведущее свою историю с 1956 года. В ноябре 1957 г. завод выпустил свою первую продукцию.

В 1960 году завод начал выпускать технологическое оборудование, дробильно-размольное, обжиговые печи, а в 1961 году был произведен запуск металлургического комплекса.

С появлением завода «Волгоцеммаш» СССР полностью отказался от импорта оборудования для цементной промышленности и перешел к его экспорту. Продукция данного завода поставлялась в 28 различных стран, такие как Финляндия, Индия, Эфиопия, Иран, Венгрия, Турция и другие.

За качество и надежность своей продукции завод был награжден пятью золотыми, восемнадцатью серебряными и тридцатью пятью бронзовыми медалями ВДНХ.

Несмотря на множество трудностей, связанных с развалом СССР, падением спроса и непростой экономической ситуации в России в последние 20 лет, предприятие сумело сохранить производственные площади, основное оборудование, архивы, а также бесценный опыт более, чем полувекового производства оборудования.

Сегодня ОАО «Волгоцеммаш» - это производственная площадка на территории в 1,7 км², имеющая около 20 цехов и более 100 объектов вспомогательного назначения. Предприятие работает по полному циклу изготовления изделий: подготовка и выплавка металла, кузнечно-прессовое, сварочное, металлообрабатывающее и сборочное производства.

В последние годы значительно расширена номенклатура производимой предприятием продукции и теперь ОАО «Волгоцеммаш» является

поставщиком не только оборудования для цементной, но и для строительной, горно-рудной, металлургической, железнодорожной и химической промышленности.

Проходя преддипломную практику на этом предприятии, мне удалось попасть в сталелитейный цех №1. Сам цех представляет собой старое здание советских времен с большим количеством старого оборудования.

Основными электроприемниками в цеху являются электро-механические краны (ЭМК) и электро-передвижные телеги (ЭПТ). Так же к потребителям относятся смесительные установки ХТС (смесительные установки холодно твердеющего состава), сушилка в количестве двух штук (верхнее и нижнее), ленточный конвейер, глиномесильная установка, насосная станция печи, весы, выбивная решетка, пневматический насос и механизмы открывания ворот. Остальное оборудование сталелитейного цеха функционирует от газовой водоснабжения, поэтому оно рассматриваться в данной выпускной квалификационной работе не будет.

«Надземные рельсовые крановые предназначены для передвижения во время эксплуатации внутри цехов и на эстакадах грузоподъемных мостовых кранов (включая опорные и подвесные), полукозловых и полупортальных кранов, передвижных консольных кранов, монорельсовых грузовых тележек, электрических и ручных передвижных талей.» [1].

Тщательно изучив энергосистему цеха и опросив рабочих, получил сведения о том, что со временем был изменен технологический процесс, а именно стали завозить другой песок для изготовления стержней и других необходимых форм при отливке различных заготовок. Раньше на производство завозился обычный песок в вагонах при помощи железнодорожного транспорта, который транспортировался электро-механическими кранами и электро-передвижными телегами из вагонов к смесителям «Бегунам», которые в свою очередь транспортировали песок на ленточный конвейер. Затем песок отправлялся по ленточному конвейеру к сушильным барабанам и трехкамерным сушилам, в которых производилась сушка песка. Высушенный

песок так же при помощи «Бегунов» подавался на ленточный конвейер, который транспортировал его к смесительным установкам ЖСС (смесительные установки жаросохнущего состава) и ХТС, в которых происходило изготовление необходимых стержней и других различных форм необходимых при изготовлении деталей. В настоящее время на производство завозится импортный песок отборного качества в герметичных контейнерах который не требует сушки. В связи с этим, необходимость в большей части оборудования отпала, и оно было изъято из производства в связи с ненужностью. Часть оборудования была заменена на новое и более энергоэффективное. Если быть точнее, то заменили и убрали часть смесительных установок ЖСС и ХТС, были демонтированы все ленточные конвейеры за исключением одного, убраны сушильные барабаны и трехкамерные сушилка для песка, так же была убрана часть электро-механических кранов, электро-передвижных телег и все смесительные установки «Бегуны».

Общая нагрузка по цеху, после демонтажа большого количества оборудования и частичной замены устаревших смесительных установок ЖСС на новые смесительные установки ХТС импортного производства, упала примерно в 1,5-2 раза. После замены оборудования пересчет системы электроснабжения, замена трансформаторов, аппаратов защиты и проводников не производилась. Выяснилось, что трансформаторы в трансформаторных подстанциях не подлежали замене с момента постройки предприятия, тем самым трансформаторы находятся в работе уже более 40 лет, что говорит об исходе их срока службы, так как старение их изоляции достигает критического уровня. Так же выяснилось, что после замены оборудования, трансформаторы работали в недогруженном режиме и не соблюдалось условие равномерной загрузки трансформаторов.

Помимо этого, освещение на производстве не соответствует нормам СНиП (строительные нормы и правила). Во время прохождения преддипломной практики, было замечено, что около половины источников искусственного света в цеху – светильники с лампами ДРЛ (дуговая ртутная

люминофорная лампа), а вторая половина – светодиодные светильники, модель которых не предназначена для установки в помещениях с высокими потолками. Так как лампы ДРЛ потребляют намного больше количества электроэнергии и имеют световой поток меньше, чем у источников света со светоизлучающими диодами, разумно будет их заменить на светодиодные светильники. Если сравнить потребляемую мощность светодиодных светильников с лампами ДРЛ с таким же световым потоком, то при одинаковом значении светового потока разница в потреблении мощности может достигать до 4 раз. Так же срок службы светодиодных светильников в среднем так же превышает срок службы ламп ДРЛ в 4 раза, поэтому стоимость светодиодных светильников окупается за достаточно быстрый период. Уходит меньше расходов на электроэнергию, затрат на работу по замене ламп в светильниках и на покупку самих ламп после выхода их из строя.

Так же к основному оборудованию в сталелитейном цехе можно отнести дуговые сталеплавильные печи. Так как они являются основным оборудованием, то необходимо рассказать об их предназначении, конструкции и принципе работы. В сталелитейном цеху №1 используются 3 печи, а именно одна ДСП-40 (дуговая сталеплавильная печь 40 МВА) и две ДСП-10.

Дуговая сталеплавильная печь предназначена для переплавки скрапа (металлолома) в сталь. Если производить сравнение дуговой сталеплавильной печи с конвекторами или мартеновскими печами, которые работают на природном топливе, то в дуговых сталеплавильных печах между переплавляемым скрапом и электродом происходит возникновение электрической дуги, из-за чего происходит выделение энергии на переплавку. Если сравнивать с традиционными видами топлива, то данный способ нагрева вызывает гораздо большую концентрацию энергии во время плавки. Во время производства электростали происходит весьма энергоемкий процесс, сопровождающийся расходом электроэнергии в районе 500-1000 кВт*ч на тонну материала. Плавка скрапа в дуговой печи, в отличие от мартеновской печи, позволяет получить перегретую сталь для фасонного литья, а также

высоколегированную сталь высокого качества. Однако себестоимость мартеновской стали получается ниже, чем сталь, изготовленная в дуговых печах, так как стоимость электроэнергии выше, чем стоимость эквивалентного количества природного топлива. Но со временем разница в стоимости готового материала между мартеновской и дуговой сталеплавильной печью уменьшается по мере разработок дуговых сталеплавильных печей большей мощности и уменьшения стоимости электроэнергии. На данный момент возможно получение низколегированных сталей в дуговых сталеплавильных печах большой мощности за счет лучшей приспособляемости дуговых сталеплавильных печей к характеру скрапа.

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) обладают вместимостью в 1,5 - 300 т. ДСП с малым объемом распространены в литейном производстве и они преимущественно выполнены с кислой футеровкой. Чаще всего в промышленности используются ДСП с вместимостью свыше 50 т. Объем ДСП на современных заводах, использующих следующую последовательность узлов: ДСП – установка печь-ковш – МНЛЗ, составляет от 80 до 150 т.

Большинство ДСП оснащены сводом, который приподнимается и поворачивается в сторону, благодаря чему упрощается загрузка шихты.

Трансформаторы дуговых сталеплавильных печей расположены в изолированных помещениях, которые соединяются с печью в районе центральной части свода через три электрода с помощью короткой сети и электродержателей.

В электросталеплавильный цех напрямую через высоковольтные линии электропередач поступает напряжение величиной от 35 до 220 кВ, которое подается на дуговую сталеплавильную печь через печной трансформатор, на котором величина напряжения падает до 100-1000В. Во время плавки ток короткого замыкания в дуговой сталеплавильной печи равен нескольким десяткам тысяч ампер.

Для того, чтобы поддерживать необходимые электрические режимы во время плавки, в электрической схеме дуговых сталеплавильных печей

установлены разъединительные, измерительные, предохранительные, а также различные регулирующие устройства.

Так как в планах и задачах на мою выпускную квалификационную работу стояла цель произвести реконструкцию низковольтной части металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш», а дуговые сталеплавильные печи питаются напрямую от главной понизительной подстанции через печные трансформаторы, то методы повышения энергоэффективности работы дуговых сталеплавильных печей и реконструкция их трансформаторных подстанций не входят в цели и задачи моей работы.

Таким образом, суть данной выпускной квалификационной работы заключается в расчете системы электроснабжения производства, замены световых приборов и проектировании новой модели освещения, выбора новых трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций, компенсирующих устройств, выбор аппаратов защиты, проводников и системы заземления и молниезащиты металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш».

2 Определение ожидаемых электрических нагрузок металлургического производства

Одним из основных этапов в проектировании системы электроснабжения производства является определение расчетных электрических нагрузок. «Именно нагрузки в основном определяют необходимые технические характеристики элементов электрических сетей — номинальные напряжения, сечения жил и марки проводников, мощность и тип трансформаторов, электрических аппаратов и другого электротехнического оборудования. Завышение прогнозируемых нагрузок при проектировании по сравнению с реально возникающими нагрузками при эксплуатации объекта приводит к недогрузке проводников и, как следствие, к неоправданному перерасходу денежных средств, вложенных в избыточную мощность электрооборудования, занижение — к излишним потерям мощности в сетях, перегреву, повышенному износу и сокращению нормального срока службы электрооборудования.» [3].

Сумма номинальных мощностей всегда получается больше, чем расчетная максимальная мощность всех электроприемников. Это объясняется разновременностью работы электроприемников, их неполной загрузкой, а также условиями труда обслуживающего персонала.

Для того, чтобы определить расчетные нагрузки чаще всего используют метод упорядоченных диаграмм, который заключается в определении максимальных расчетных нагрузок среди группы электроприемников.

Воспользуемся данным методом расчета ожидаемых электрических нагрузок при выполнении выпускной квалификационной работы.

2.1 Приведение электроприемников к трехфазному долговременному режиму работы

Для того, чтобы воспользоваться методом расчета ожидаемых электрических нагрузок, необходимо привести все электроприемники к трехфазному длительному режиму работы, так как помимо них на производстве

находятся трехфазные электроприемники с повторно-кратковременным режимом работы, а также однофазные электроприемники с длительным режимом работы.

Составим таблицу с перечнем электроприемников.

Таблица 2.1 – Перечень электроприемников

№ ЭП на генплане	Название ЭП	Мощность одного ЭП, кВт	Примечание
Пролет №1			
9	Ленточный конвейер	62	
4	Электро-механический кран	122	3-х фазный ПКР ПВ=60%
6	Электро-механический кран	108	
7	Электро-механический кран	156	
8	Электро-подвижная телега	30	
10	Пневматический насос	0,9	1-фазный ПКР ПВ=60%
5	Весы	0,5	
47,48	Механизм открывания ворот	6	
Пролет №2			
12	Электро-механический кран	182	3-х фазный ПКР ПВ=60%
14	Электро-механический кран	191	
16,17	Электро-механический кран	161	
15	Насосная станция печи	120	
13	Электро-подвижная телега	16	
Пролет №3			
19	Электро-механический кран	168	3-х фазный ПКР ПВ=60%
27	Электро-механический кран	132	
20	Электро-механический кран	205	
25	Электро-механический кран	195	
22	Электро-механический кран	132	
26	Выбивная решетка	222	
28	Электро-подвижная телега	30	
44-46	Механизм открывания ворот	6	1-фазный ПКР ПВ=60%
24	Смесительная установка ХТС	264	
23	Смесительная установка ХТС	7	
21	Электро-подвижная телега	7,5	
Пролет №4			
30	Электро-механический кран	52	3-х фазный ПКР ПВ=60%
31	Электро-механический кран	108	
32-33	Электро-механический кран	161	

Продолжение таблицы 2.1 – Перечень электроприемников

Пролет №5			
35,37	Электро-механический кран	108	3-х фазный ПКР ПВ=60%
36	Смесительная установка ХТС	63	
38	Электро-подвижная телега	2,5	
Пролет №6			
11	Электро-механический кран	160	3-х фазный ПКР ПВ=60%
18	Электро-подвижная телега	27	
34	Электро-подвижная телега	30	
29	Электро-механический кран	205	3-х фазный ПКР ПВ=60%
3	Сушило нижнее	65	
2	Сушило верхнее	65	
39-43	Механизм открывания ворот	6	1-фазный ПКР ПВ=60%
1	Глиномесильная установка	14	

Электро-механические краны являются 3-х фазным ПКР (повторно-кратковременный режим).

«В повторно-кратковременном режиме период включения длительностью t_v чередуется с паузой продолжительностью t_p . Этот режим, так же как и длительный, приводит к постепенному нагреванию ЭП до установившейся температуры. Однако процесс нагревания в этом случае по сравнению с длительным режимом при той же нагрузке замедляется и установившийся перегрев снижается. Во время пауз электрооборудование не успевает охладиться до температуры окружающей среды. Примером таких ЭП являются электроприводы механизмов подъемных кранов, обслуживающих технологические процессы, главные приводы и приводы рабочих рольгангов реверсивных прокатных станов, механизмы автоматизированных поточных линий в циклическом режиме работы, электросварочные аппараты для точечной сварки и т.п.

Длительность цикла при повторно-кратковременном режиме не должна превышать 10 мин.

Величиной, характеризующей повторно-кратковременный режим, является продолжительность включения (ПВ)» [3].

На примере ЭМК 1, приведем значения нагрузок к длительному режиму работы:

$$P_n = P_{п} \overline{ПВ} = 122 \cdot 0,6 = 94,5 \text{ кВт},$$

где: P_n – приведенная к длительному режиму активная мощность, кВт; $P_{п}$ – паспортная активная мощность, кВт; ПВ – продолжительность включения, отн.ед.

Механизм открывания ворот, весы и пневматический насос являются 1-фазным ПКР. Приведем их нагрузку к длительному режиму. Составим пример расчета для пневматического насоса. Схема его присоединения к сети ЭСН изображена на рисунке 2.1.

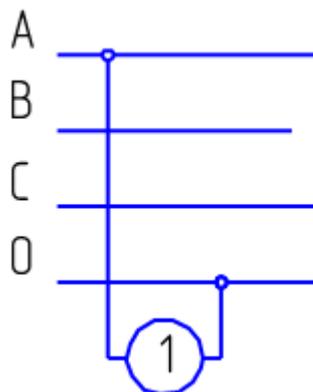


Рисунок 2.1– Распределение нагрузки однофазного ПКР по фазам

$$P_n = P_{п} \overline{ПВ} = 0,9 \cdot 0,6 = 0,7 \text{ кВт}$$

$$P_A = P_{ф.нб} = 0,7 \text{ кВт}$$

$$P_B = P_C = P_{ф.нм} = 0 \text{ кВт},$$

где: P_A – активная мощность на фазе А, кВт; P_B – активная мощность на фазе В, кВт; P_C – активная мощность на фазе С, кВт; $P_{ф.нб}$ – мощность наиболее загруженной фазы, кВт; $P_{ф.нм}$ – мощность наименее загруженной фазы, кВт.

Определим неравномерность распределения нагрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 10^2 = \frac{0,7 - 0}{0} \cdot 10^2 = 100\% > 15\%,$$

Следовательно,

$$P_y = 3 \cdot P_{\text{ф.нб}} = 3 \cdot 0,7 = 2,1 \text{ кВт},$$

где: P_y – приведенная трехфазная мощность, кВт.

2.2 Расчет электрических нагрузок освещения

Расчет осветительной нагрузки сталелитейного цеха произведен в программном комплексе DIALux evo 7.1. «Программа для проектирования DIALux разработана немецкой компанией DIAL GmbH и предназначена для выполнения светотехнических расчетов и проектирования как внутреннего, так и внешнего освещения» [19]. Для освещения цеха, в целях экономии средств электроэнергии, выбраны светильники, производимые заводом Световые технологии, марки HB LED 300 D100 5000K, HB LED 228 D100 4000K, HB LED 152 D100 4000K, HB LED 152 D64 4000K, HB LED 76 D64 4000K и ALS.PRS UNI LED 1200 4000K.

Так как основные помещения металлургического производства, а именно литейное, очистное и транспортировочное отделения, ремонтная мастерская, склад готовой продукции, трансформаторная подстанция 1 (ТП1) и трансформаторная подстанция 2 (ТП2) являются помещениями с большой высотой потолков, а именно 11,2 метра, то в данных помещениях целесообразна установка специальных светодиодных светильников предназначенных для установки без подвесов в помещениях с высотой потолков выше 9 метров. Данным типом светильников является модель HB LED от производителя Световые технологии. В помещениях с высотой 3,6 метра – установлены светодиодные светильники модели ALS.PRS UNI, предназначенные к установке в помещениях с высотой потолков до 5 метров.

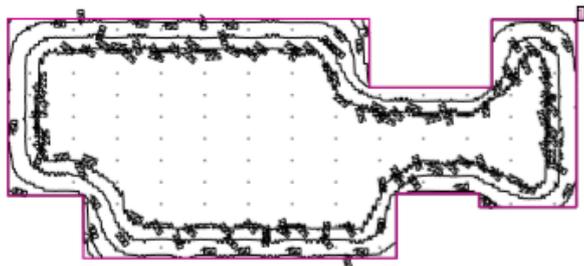
Сводная ведомость расчета осветительной нагрузки сталелитейного цеха представлена в таблице 2.2. Пример расчета освещенности в программной среде DIALux представлен на рисунке 2.2.

Таблица 2.2 – Сводная ведомость осветительной нагрузки сталелитейного цеха

Помещение	h, м	$P_{н}$, кВт	Кол-во	$P_{н\Sigma}$, кВт	Еср.р., Лк	Еср.норм., Лк
Литейное отделение	11,2	0,325	118	38,35	215	200
Очистное отделение	11,2	0,075	25	1,88	300	300
Ремонтная мастерская	11,2	0,150	16	2,40	302	300
Транспортировочное отделение	11,2	0,225	35	7,88	157	150
Склад готовой продукции	11,2	0,150	40	6,00	106	100
ТП 1	11,2	0,075	6	0,45	60	50
ТП 2	11,2	0,075	6	0,45	54	50
Бытовые помещения (3 этажа)	3,6	0,033	60	1,98	123	100
Малые бытовые помещения (3 этажа)	3,6	0,033	24	0,79	137	100
Холл (2 помещения по 3 этажа)	3,6	0,033	12	0,40	120	100
Всего:			342	60,58		

Для освещения литейного отделения применяется светодиодный светильник LIGHTINGTECHNOLOGIES HB LED 300 D100 5000K, для освещения очистного отделения, ТП 1 и ТП 2 применяется светильник LIGHTINGTECHNOLOGIES HB LED 76 D64 4000K. В ремонтной мастерской в качестве источников света используется светильник LIGHTINGTECHNOLOGIES HB LED 152 D64 4000K. Для освещения транспортировочного отделения были применены светильники LIGHTINGTECHNOLOGIES HB LED 228 D100 4000K, а для склада готовой продукции - LIGHTINGTECHNOLOGIES HB LED 152 D100 4000K. В помещениях с низкой высотой потолков, а именно бытовые помещения и холлы, используются светильники марки LIGHTINGTECHNOLOGIES ALS.PRS UNI LED 1200 4000K.

Литейное отделение



Высота помещения в свету: 11.200 m, Коэффициенты отражения: Потолок 70.0%, Стенки 50.0%, Полы 20.0%, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Рабочая плоскость

Поверхность	Результат	Средн. (Заданное)	Min	Max	Мин./средн.	Мин./макс.
1 Рабочая плоскость 10	Освещенность по вертикали (адаптивный) [lx] Высота: 0.800 m, Краевая зона: 0.000 m	214 (≥ 200)	58.9	249	0.28	0.24

#	Светильник	Ф(Светильник) [lm]	Мощность [W]	Светоотдача [lm/W]
118	Световые Технологии - 1224001310 HB LED 300 D100 5000K	32400	325.0	99.7
Сумма для всех светильников		3823200	38350.0	99.7

Удельная потребляемая мощность: $2.61 \text{ W/m}^2 = 1.22 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Площадь в основании помещения 14669.35 m²)

Параметры расхода энергии относятся к запланированным в помещении светильникам без учета сцен освещения и световых сцен и состояния их диммирования.
Потребление: 86300 kWh/a макс. 513450 kWh/a

Рисунок 2.2 – Пример расчета освещенности станочного отделения в программной среде DIALux

2.3 Составление сводной ведомости нагрузок металлургического производства

Составим сводную ведомость нагрузок металлургического производства и представим ее в таблицу 2.3.

Пример расчета параметров, приведенных в сводной ведомости для РП1 (для РП2, РП3, РП4, РП5, РП6 и ЩО расчет производился аналогичным образом).

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}} = \frac{158,8}{4,7} = 33,8$$

$$m > 3,$$

где: $P_{н.нб}$ – номинальная приведенная к длительному режиму активная мощность наибольшего электроприемника в группе, кВт; $P_{н.нм}$ – номинальная приведенная к длительному режиму активная мощность наименьшего электроприемника в группе, кВт; m – показатель силовой сборки в группе, отн.ед.

Пример расчета средней активной и средней реактивной мощности за наиболее загруженную смену для электро-механического крана 11, подключенного к РП1:

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н} = 0,1 \cdot 123,9 = 12,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi = 12,4 \cdot 1,73 = 21,5 \text{ квар,}$$

где: $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности, отн.ед.; $K_{и}$ – коэффициент использования электроприемников, отн.ед.

Полная мощность для РП1:

$$S_{см\Sigma} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2} = \sqrt{156,4^2 + 110,1^2} = 191,3 \text{ кВА}$$

Найдем общие параметры для РП1:

$$K_{и.ср} = \frac{P_{см\Sigma}}{P_{н\Sigma}} = \frac{156,4}{554,2} = 0,28$$

$$\cos\varphi = \frac{P_{см\Sigma}}{S_{см\Sigma}} = \frac{156,4}{191,3} = 0,82$$

$$tg\varphi = \frac{Q_{см\Sigma}}{P_{см\Sigma}} = \frac{110,1}{156,4} = 0,7$$

$$n_3 = F(n, m, K_{и.ср}, P_{н}) = F(12, >3, 0,28, \text{ переменная})$$

$$n_3 = \frac{2 \cdot \frac{1^2}{1} P_{н}}{P_{н.наиб}} = 6,98$$

$$K_{м} = F(K_{и.ср}; n_3) = F(0,28; 6,98) = 1,8,$$

где: K_M – коэффициент максимума активной нагрузки, отн.ед.; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности, отн.ед.

Так как эффективное число электроприемников $n_3 < 10$, выбираем коэффициент максимума реактивной загрузки $K'_M = 1,1$.

Находим максимальную активную, реактивную и полную мощность:

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} = 1,8 \cdot 156,4 = 281,5 \text{ кВт}$$

$$Q_M = K'_M \cdot Q_{CM} = 1,1 \cdot 110,1 = 121,1 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{281,5^2 + 121,1^2} = 306,4 \text{ кВА}$$

Произведем расчет потерь активной, реактивной и полной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M \text{ НН}} = 0,02 \cdot 1923,9 = 38,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M \text{ НН}} = 0,1 \cdot 1923,9 = 192,4 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{38,5^2 + 192,4^2} = 196,2 \text{ кВА},$$

где: $S_{M \text{ НН}}$ - максимальная полная нагрузка на стороне низкого напряжения, кВА.

Рассчитаем ток на каждом из РУ:

$$I_{M(\text{РП1})} = \frac{S_{M(\text{РП1})}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{306,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 466,1 \text{ А}$$

$$I_{M \text{ РП2}} = \frac{S_{M \text{ РП2}}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{275,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 418,5 \text{ А}$$

$$I_{M \text{ РП3}} = \frac{S_{M \text{ РП3}}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{233,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 355,3 \text{ А}$$

$$I_{M \text{ РП4}} = \frac{S_{M \text{ РП4}}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{149,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 227,1 \text{ А}$$

$$I_{M \text{ РП5}} = \frac{S_{M \text{ РП5}}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{652,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 992,9 \text{ А}$$

$$I_{M \text{ РП6}} = \frac{S_{M \text{ РП6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{253,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 385,9 \text{ А}$$

$$I_{M \text{ ЩО}} = \frac{S_{M \text{ ЩО}}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{57,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 87,3 \text{ А,}$$

где: S_M – максимальная полная нагрузка на РУ, кВА; $U_{л}$ – линейное напряжение, кВт.

Результаты расчетов внесены в сводную ведомость нагрузок металлургического производства (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Сводная ведомость нагрузок металлургического производства

Сводная ведомость нагрузок металлургического производства																	
Наименование распределительных устройств и электроприемников	Установленная нагрузка							Средняя нагрузка за смену						Максимальная нагрузка			
	$P_{н\prime}$, кВт	n	$P_{н\Sigma}$, кВт	$K_{н}$	cosφ	tgφ	m	$P_{см\prime}$, кВт	$Q_{см\prime}$, квар	$S_{см\prime}$, кВА	$n_{э}$	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА	I_M , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РП1																	
ЭМК-11	123,9	1	123,9	0,1	0,5	1,73		12,4	21,5								
ЭПТ-18	27,0	1	27,0	0,4	0,7	1,02		10,8	11,0								
ЭПТ-34	30,0	1	30,0	0,4	0,7	1,02		12,0	12,2								
ЭМК-29	158,8	1	158,8	0,1	0,5	1,73		15,9	27,5								
Сушило верхнее	65,0	1	65,0	0,75	0,95	0,33		48,8	16,1								
Сушило нижнее	65,0	1	65,0	0,75	0,95	0,33		48,8	16,1								
Механизм открывания ворот	4,7	5	70,5	0,05	0,75	0,88		3,5	3,1								
Глиномесильная установка	14,0	1	14,0	0,3	0,85	0,62		4,2	2,6								
Всего по РП1	-	12	554,2	0,28	0,82	0,7	>3	156,4	110,1	191,3	6,98	1,8	1,1	281,5	121,1	306,4	466,1
РП2																	
ЭМК-4	94,5	1	94,5	0,1	0,5	1,73		9,5	16,4								
Весы	0,4	1	1,2	0,5	0,59	1,37		0,6	0,8								
ЭМК-6	83,7	1	83,7	0,1	0,5	1,73		8,4	14,5								
ЭМК-7	120,8	1	120,8	0,1	0,5	1,73		12,1	20,9								
ЭМК-12	141,0	1	141,0	0,1	0,5	1,73		14,1	24,4								
ЭМК-14	148,0	1	148,0	0,1	0,5	1,73		14,8	25,6								
ЭПТ-13	16,0	1	16,0	0,4	0,7	1,02		6,4	6,5								
ЭМК-19	130,1	1	130,1	0,1	0,5	1,73		13,1	22,7								
Всего по РП2	-	8	735,3	0,11	0,51	1,67	>3	79,0	131,8	153,7	6,48	2,96	1,1	233,8	145,0	275,1	418,5
РП3																	
ЭМК-20	158,8	1	158,8	0,1	0,5	1,73		15,9	27,5								
ЭМК-30	40,3	1	40,3	0,1	0,5	1,73		4,0	6,9								
ЭМК-31, ЭМК-35	83,7	2	167,4	0,1	0,5	1,73		16,7	28,9								
ХТС-36	63	1	63	0,7	0,8	0,75		44,1	33,1								
Всего по РП3	-	5	429,5	0,19	0,64	1,19	>3	80,7	96,4	125,7	4,75	2,58	1,1	208,2	106,0	233,6	355,3
РП4																	
ЭМК-37	83,7	1	83,7	0,1	0,5	1,73		8,4	14,5								
ЭПТ-38	2,5	1	2,5	0,4	0,7	1,02		1,0	1,0								
ЭМК-32, ЭМК-33	124,7	2	249,4	0,1	0,5	1,73		24,9	43,1								
ХТС-23	7,0	1	7,0	0,7	0,8	0,75		4,9	3,7								
ЭПТ-21	7,5	1	7,5	0,4	0,7	1,02		3	3,1								
Всего по РП4	-	6	350,1	0,12	0,54	1,55	>3	42,2	65,4	77,8	5,40	3,1	1,1	130,8	71,9	149,3	227,1

РП5																
Насосная станция печи	120,0	1	120,0	0,7	0,8	0,75		84,0	63,0							
ХТС-24	264,0	1	264,0	0,7	0,8	0,75		184,8	138,6							
ЭМК-25	151,1	1	151,1	0,1	0,5	1,73		15,1	26,1							
ЭМК-16, ЭМК-17	124,7	2	249,4	0,1	0,5	1,73		24,9	43,1							
ЭМК-22	102,3	1	102,3	0,1	0,5	1,73		10,2	17,6							
ЭПТ-8	30,0	1	30,0	0,4	0,7	1,02		12	12,2							

Продолжение таблицы 2.3 – Сводная ведомость нагрузок металлургического производства

Всего по РП5	-	7	916,8	0,36	0,74	0,91	>3	331,0	300,6	447,1	6,95	1,7	1,1	562,7	330,7	652,7	992,9
РП6																	
ЭМК-27	102,3	1	102,3	0,1	0,5	1,73		10,2	17,6								
ЭПТ-28	30,0	1	30,0	0,4	0,7	1,02		12,0	12,2								
Выбивная решетка	37,0	6	222,0	0,25	0,65	1,17		55,5	64,9								
Ленточный конвейер	62,0	1	62,0	0,5	0,7	1,02		31,0	31,6								
Механизм открывания ворот	4,7	5	70,5	0,05	0,75	0,88		3,5	3,1								
Пневматический насос	0,7	1	2,1	0,7	0,8	0,75		1,5	1,1								
Всего по РП6	-	15	488,9	0,23	0,66	1,15	>3	113,7	130,5	173,1	9,56	1,84	1,1	209,2	143,6	253,7	385,9
ЩО																	
ОУ с СЛ	-	-	60,58	0,9	0,95	0,33	-	54,5	18,0	57,4	-	-	-	54,5	18,0	57,4	87,3
Всего на ШНН											-	-	-	1680,7	936,3	1923,9	-
Потери														38,5	192,4	196,2	-
Всего на ВН														1719,2	1128,7	2056,6	-

3 Выбор мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций и компенсирующих устройств

«На подстанциях всех напряжений, как правило, применяется не более двух трансформаторов по соображениям технической и экономической целесообразности. В большинстве случаев это обеспечивает надежное питание потребителей и в то же время дает возможность применять простейшие блочные схемы подстанций без сборных шин на первичном напряжении, что резко упрощает их конструктивные решения и уменьшает стоимость.» [3]

Выберем ТП 6/0,4 кВ.

Определим расчетную мощность необходимого трансформатора вместе с потерями, но не учитывая компенсацию реактивной мощности. Расчетная мощность должна быть не меньше полной расчетной нагрузки на стороне ВН:

$$S_T \geq S_{M \text{ ВН}} = 2056,6 \text{ кВА}$$

Сталелитейный цех является производством с потребителями I категории надежности. Следовательно, питание потребителей должно осуществляться от двух трансформаторов.

Для потребителей всех групп надежности возможно применение однотрансформаторных цеховых подстанций при наличии складского резерва, в том числе для потребителей первой категории при условии, что их нагрузка не превышает 20% от общей нагрузки и используются перемычки на низкой стороне между трансформаторными подстанциями.

Произведем выбор трансформаторов для трансформаторных подстанций:

Два трансформатора ТМ 1600/6/0,4

$$R_T = 1,0 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{XX} = 2,05 \text{ кВт}$$

$$X_T = 5,4 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{K3} = 16 \text{ кВт}$$

$$Z_T = 5,4 \text{ мОм}; \quad U_{K3} = 5,5 \%$$

$$Z_T^1 = 44 \text{ мОм}; \quad i_{XX} = 1,3 \%$$

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{N_T \cdot S_T} = \frac{1923,9}{2 \cdot 1600} = 0,6,$$

где: S_{HH} – максимальная полная нагрузка на НН, кВА; S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА; K_3 – коэффициент загрузки трансформатора, отн.ед.; N_T – количество трансформаторов, отн.ед.

$$K_{3A} = \frac{S_{HH}}{(N_T - 1) \cdot S_T} = \frac{1923,9}{(2 - 1) \cdot 1600} = 1,2,$$

где: K_{3A} – коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме, отн.ед.

Найдем величину потерь по активной и реактивной мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta P_{XX} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} = 2 \cdot 2,05 + 0,6^2 \cdot 16 = 15,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot i_{XX} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_H}{100} = 2 \cdot 1,3 + 0,6^2 \cdot 16 \cdot \frac{1600}{100} = 225,9 \text{ квар},$$

где: ΔP_T – потери активной мощности одного трансформатора, кВт; ΔQ_T – потери реактивной мощности одного трансформатора, квар; ΔP_{XX} – потери активной мощности в режиме холостого хода, кВт; ΔP_{K3} – потери активной мощности в режиме короткого замыкания, кВт; S_H – номинальная мощность трансформатора, кВт.

Рассчитаем суммарную активную и реактивную мощности с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 1680,7 + 15,6 = 1696,3 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 936,3 + 225,9 = 1162,2 \text{ квар},$$

где: $P_{p\Sigma}$ – максимальная активная нагрузка на ШНН, кВт; $Q_{p\Sigma}$ – максимальная реактивная нагрузка на ШНН, квар.

Q_{min} определяется по годовому графику. Для сталелитейного цеха машиностроительного предприятия $Q_{min} = 50\%$. Найдем реактивную мощность в часы минимальной нагрузки:

$$Q_{min} = Q_p \cdot 0,5 = 1162,2 \cdot 0,5 = 581,1 \text{ квар}$$

Рассчитаем значения реактивной мощности в часы максимальной нагрузки с экономической точки зрения:

$$Q_{э1}^I = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд} = 1162,2 - 0,7 \cdot 0 = 1162,2 \text{ квар}$$

$$Q_{э1}^{II} = \alpha \cdot P_p = 0,28 \cdot 1696,3 = 475,0 \text{ квар,}$$

где: α – основная ставка двухставочного тарифа, руб/кВт; $Q_{сд}$ – потребление реактивной мощности синхронными двигателями, квар.

Принимаем наименьшее из значений, а именно $Q_{э1} = 475,0$ квар, в связи с пониженным значением напряжения в часы максимальных нагрузок.

Рассчитаем значения реактивной мощности в часы наименьшей нагрузки с экономической точки зрения:

$$Q_{э2}^I = Q_{min} + Q_K = 581,1 + 0 = 581,1 \text{ квар}$$

$$Q_{э2}^{II} = Q_{min} - Q_p - Q_{э1} = 581,1 - 1162,2 - 475,0 = -106,1 \text{ квар,}$$

где: Q_K – мощность, генерируемая компенсирующими устройствами предприятия в часы минимальной активной нагрузки энергосистемы, квар.

Принимаем наибольшее из значений, а именно $Q_{э2} = 581,1$ квар, в связи с повышенным значением напряжения в часы минимальных нагрузок.

Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{ку \max} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{э1} = 1,1 \cdot 1162,2 - 475,0 = 803,4 \text{ квар}$$

$$Q_{ку \min} = Q_{min} - Q_{э2} = 581,1 - 851,1 = 0 \text{ квар}$$

Следовательно, целесообразна установка регулируемых КУ.

Рассчитаем мощность и число цеховых трансформаторов трансформаторных подстанций с компенсирующими устройствами.

Значение необходимой передаваемой реактивной мощности, не подвергающееся компенсации, из сети 6 кВ в сеть, напряжение которой не превышает 1кВ:

$$Q_{эн} = Q_{э1} - (Q_p - Q_p) = 475,0 - 1162,2 - 936,3 = 249,1 \text{ квар}$$

Значение возможной передаваемой реактивной мощности из сети с напряжением 6 кВ в сеть, напряжение которой не превышает 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,6 \cdot 1600)^2 - 1680,7^2} = 928,3 \text{ квар}$$

Рассчитаем номинальную мощность КУ, требуемых к установке на стороне низкого напряжения:

$$Q_{ку.н} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 936,3 - 928,3 = 8 \text{ квар}$$

Установка КУ на стороне низкого напряжения не целесообразна, так как $Q_{ку.н} < 100$ квар.

Рассчитаем номинальную мощность КУ, требуемых к установке на стороне ВН:

$$Q_{ку.в} = Q_{ку.мах} - Q_{ку.н} = 803,4 - 8 = 795,4 \text{ квар}$$

Так как, $Q_{ку.в} \sim 800$ квар, требуется установка компенсирующих устройств на стороне 6 кВ.

Выполним проверку соответствия $tg\phi$ – его значение должно быть максимально близким к 0,33.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Параметр	$\cos\phi$	$tg\phi$	$P_m, \text{кВ}$	$Q_m, \text{квар}$	$S_m, \text{кВА}$
Всего на НН без КУ	0,87	0,56	1680,7	936,3	1923,9

Рассчитаем мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_M \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K = 0,9 \cdot 1680,7 \cdot 0,56 - 0,33 = 347,9 \text{ квар},$$

где: α – коэффициент, учитывающий повышение \cos естественным образом, отн.ед.; P_M – максимальная активная нагрузка на ШНН, кВт; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности до компенсации, отн.ед.; $\operatorname{tg} \varphi_K$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации, отн.ед.

Выбираем автоматическую конденсаторную установку с регулированием по мощности: 2хУКМ58-0,4-180-30УЗ .

Определим фактическое значение $\operatorname{tg} \varphi_K$ и $\cos \varphi_K$:

$$\operatorname{tg} \varphi_K = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} = 0,56 - \frac{2 \cdot 180}{0,9 \cdot 1680,7} = 0,32 \Rightarrow \cos \varphi_K = 0,95$$

где: $Q_{к.ст}$ – стандартное значение мощности выбранного КУ, квар; $\cos \varphi_K$ – коэффициент мощности после применения КУ, отн.ед.

Составим сводную ведомость нагрузок.

Таблица 3.2 – Сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА
Всего на НН без КУ	0,87	0,56	1680,7	936,3	1923,9
КУ				2х180	
Всего на НН с КУ	0,95	0,32	1680,7	576,3	1776,8
Потери			35,5	177,7	181,2
Всего на ВН с КУ			1716,2	754,0	1874,5

Рассчитаем потери активной, реактивной, полной мощности в трансформаторе после установки КУ:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M(НН)} = 0,02 \cdot 1776,8 = 35,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M(НН)} = 0,1 \cdot 1776,8 = 177,7 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{35,5^2 + 177,7^2} = 181,2 \text{ кВА}$$

$$K_3 = \frac{S_{M(\text{ВН})}}{S_H} = \frac{1874,5}{2 \cdot 1600} = 0,6,$$

где: $S_{M(\text{НН})}$ – максимальная полная нагрузка на НН с КУ, кВА; $S_{M(\text{ВН})}$ – максимальная полная нагрузка на ВН с КУ с учетом потерь, кВА; K_3 – коэффициент загрузки трансформатора.

Произведем расчет затрат на установку ТП и КУ.

Рассчитаем затраты на установку КУ 2хУКМ58-0,4-180-30УЗ:

$$\begin{aligned} Z_{\text{КУ}} &= E \cdot K_y \cdot \frac{U^2}{U_{\text{БК}}^2} \cdot Q + C_0 \cdot P_{\text{КУ}} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot n = \\ &= 0,223 \cdot 960 \cdot \frac{1^2}{1} \cdot 0,36 + 4,8 \cdot 4,5 \cdot 0,36 + 0,27 \cdot 68,1 \cdot 2 = \\ &= 121,6 \text{ тыс. руб} \end{aligned}$$

где: E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП, отн.ед.; K_y – удельная стоимость компенсирующего устройства, тыс.руб/Мвар; K_p – стоимость одного компенсирующего устройства, тыс.руб; Q – общая установленная мощность КУ, Мвар; n – количество компенсирующих устройств, отн.ед.; E_p – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложений в КУ; $P_{\text{КУ}}$ – единица потерь активной мощности на КУ, кВт; C_0 – стоимость единицы потерь активной мощности тыс.руб/кВт.

Рассчитаем затраты на установку двух ТП с трансформаторами ТМ 1600/6/0,4:

$$Z_{\text{ТП}} = n \cdot E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_T = 2 \cdot 0,223 \cdot 690 + 588,1 = 1483,9 \text{ тыс. руб}$$

где: E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП, отн.ед.; $K_{\text{ТП}}$ – стоимость одного трансформатора, тыс.руб.

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{\text{хх}} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}} = 148,9 \cdot 2,05 + 49,1 \cdot 0,6^2 \cdot 16 = \\ = 588,1 \text{ тыс.руб}$$

где: C – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь, тыс.руб; C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора, тыс.руб.

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_p = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = 148,9 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 2886,2 = 49,1 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

где: α – основная ставка двухставочного тарифа, руб/кВт.; β – дополнительная плата за один кВт час потребляемой электроэнергии, руб/кВт · ч; T_p – время работы трансформатора в году, ч.; T_M – время использования максимальной нагрузки предприятием в год, ч.; τ – время максимальных потерь, отн.ед.

Стоимость общих затрат:

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{тп}} + Z_{\text{ку}} = 1483,9 + 121,6 = 1605,5 \text{ тыс.руб}$$

Схема цехового электроснабжения приведена в графической части.

4 Предварительный выбор электрооборудования и проводников

Произведем предварительный выбор электрооборудования и проводников для обеспечения цехового оборудования электроэнергией, основываясь на расчетных значениях длительно допустимых токов.

Защиту электроприемников выполним с помощью автоматических выключателей.

«Автоматические выключатели предназначены для автоматического размыкания электрических цепей при аномальных режимах (КЗ и перегрузках), для редких оперативных переключений (три— пять в час) при нормальных режимах, а также для защиты электрических цепей при недопустимых снижениях напряжения. По сравнению с предохранителями автоматические выключатели обладают рядом преимуществ: после срабатывания автоматический выключатель снова готов к работе, в то время как в предохранителе требуется замена калибровочной плавкой вставки, увеличивающая время простоя ЭП; более точные защитные характеристики; совмещение функций коммутации электрических цепей и их защиты; наличие у некоторых автоматических выключателей независимых расцепителей, позволяющих осуществлять дистанционное отключение электрической цепи и др. В отличие от предохранителей, в автоматических выключателях не применяется какая-либо специальная среда для гашения дуги. Дуга гасится в воздухе, поэтому автоматические выключатели называются воздушными. По числу полюсов автоматические выключатели бывают одно-, двух- и трехполюсные» [3].

Проанализировав ситуацию на рынке среди производителей автоматических выключателей, было принято решение использовать автоматические выключатели марки IEK.

Линия Т1-ШНН1, 1SF. Расчет выключателя линии производится без учета влияния пусковых токов электродвигателей.

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2312,1 \text{ A}$$

$$I_{H.a} \geq I_{H.p} \geq I_T \geq 2312,1 \text{ A},$$

где: I_T – номинальный ток трансформатора, А; S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА; U_H – номинальное напряжение трансформатора, кВТ; $I_{H.a}$ – номинальный ток автомата, А; $I_{H.p}$ – номинальный ток расцепителя, А.

Выбираем ВА 55-45-3

$$V_{H.a} = 380 \text{ В}$$

$$I_{H.a} = 2500 \text{ А}$$

$$I_{H.p} = 2500 \text{ А}$$

$$I_{y(n)} = 1,25 \cdot I_{H.p}$$

$$I_{y(k3)} = 2 \cdot I_{H.p}$$

$$I_{откл} = 36 \text{ кА},$$

где: $V_{H.a}$ – номинальное напряжение автомата, В; $I_{y(n)}$ – номинальный ток по уставке полупроводникового расцепителя, А; $I_{y(k3)}$ – уставка тока срабатывания в зоне короткого замыкания, А; $I_{откл}$ – номинальная предельная наибольшая отключающая способность, кА.

Аналогичный расчет произведем для линии Т2-ШНН2 и занесем данные в сводную ведомость аппаратов защиты и проводников (таблица 4.1).

Линия ШНН1-ШНН2, SF1. Расчет выключателя линии производится с учетом влияния пусковых токов электродвигателей.

Найдем максимальный ток ШНН1 и ШНН2.

$$I_{M \text{ ШНН1}} = I_{M \text{ РП1}} + I_{M \text{ РП2}} + I_{M \text{ РП3}} + I_{M \text{ ЩО}} = 466,1 + 418,5 + 355,3 + 87,3 = 1327,2 \text{ А}$$

$$I_{M(\text{ШНН2})} = I_{M \text{ РП4}} + I_{M \text{ РП5}} + I_{M \text{ РП6}} = 227,1 + 992,9 + 385,9 = 1605,9 \text{ А}$$

где: $I_{M(\text{ШНН1})}$ – максимальный ток ШНН1, А; $I_{M(\text{ШНН2})}$ – максимальный ток ШНН2, А; $I_{M \text{ РП1}}$ – максимальный ток РП1, А; $I_{M \text{ РП2}}$ – максимальный ток РП2, А; $I_{M \text{ РП3}}$ – максимальный ток РП3, А; $I_{M \text{ РП4}}$ – максимальный ток РП4,

А; $I_{M \text{ РП5}}$ – максимальный ток РП5, А; $I_{M \text{ РП6}}$ – максимальный ток РП6, А;
 $I_{M \text{ ЩО}}$ – максимальный ток ЩО, А.

В качестве максимального тока линии принимаем наибольшее значение.

$$I_M = I_{M(\text{ШНН2})} = 1605,9 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot 1605,9 \text{ А} = 1766,49 \text{ А}$$

где: I_M – максимальный ток линии, А.

Выбираем ВА 55-45-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 2500 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 2500 \text{ А}$$

$$I_{y(\text{п})} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(\text{кз})} = 2 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{\text{откл}} = 36 \text{ кА}$$

$$I_{н.нб} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{264}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,80 \cdot 0,9} = 557,8 \text{ А}$$

$$I_{п.нб} = 6,5 \cdot I_{н.нб} = 6,5 \cdot 557,8 = 3625,7 \text{ А}$$

$$I_{\text{пик}} = I_{п.нб} + I_M - I_{н.нб} \cdot K_{и} = 3625,7 + 1605,9 - 557,8 \cdot 0,7 = 4841,1 \text{ А}$$

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 4841,1 = 6051,4 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{6051,4}{2500} = 2,4$$

Принимаем $K_o=3$

где: $I_{н.нб}$ – номинальный ток наибольшего в группе электродвигателя, А; $I_{п.нб}$ – пусковой ток наибольшего в группе электродвигателя, А; $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток, А; $K_{и}$ – коэффициент использования, отн.ед.; I_o – ток отсечки, А; K_o – кратность отсечки, отн.ед.; P_H – номинальная мощность наибольшего электродвигателя, кВт; U_H – номинальное напряжение электродвигателя, кВ; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя, отн.ед; η – КПД электродвигателя, отн.ед.

Аналогичный расчет произведем для РУ и занесем данные в сводную ведомость аппаратов защиты и проводников (таблица 4.1).

Линия ШНН-ЩО, SF1, линия без электродвигателей.

$$Q_H = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = 60,6 \cdot 0,33 = 20,0 \text{ квар}$$

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + Q_H^2} = \sqrt{60,6^2 + 20,0^2} = 63,8 \text{ кВА}$$

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{63,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 97,1 \text{ А}$$

$$I_{H.a} \geq I_{H.p} \geq I_H \geq 97,1 \text{ А,}$$

где: Q_H – номинальная реактивная мощность осветительной нагрузки, квар; P_H – номинальная активная мощность осветительной нагрузки, кВт; S_H – номинальная полная мощность осветительной нагрузки, кВА; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, отн.ед.; U_H – номинальное напряжение осветительной нагрузки, кВт; I_H – номинальный расчетный ток осветительной нагрузки.

Выбираем ВА 51-31-3

$$V_{H.a} = 380 \text{ В}$$

$$I_{H.a} = 100 \text{ А}$$

$$I_{H.p} = 100 \text{ А}$$

$$I_{y(n)} = 1,25 \cdot I_{H.p}$$

$$I_{y(kз)} = 10 \cdot I_{H.p}$$

$$I_{откл} = 7 \text{ кА}$$

Линия РП1 – Электро-механический кран 11, SF линия с одним электродвигателем.

$$I_D = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{123,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 418,8 \text{ А}$$

$$I_{H.a} \geq I_{H.p} \geq 1,25 \cdot I_D = 1,25 \cdot 418,8 = 523,5 \text{ А,}$$

где: I_D – номинальный ток потребителя с электродвигателем, А.

Выбираем ВА 55-39-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 630 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 630 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 10 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

$$I_o \geq 1,2 \cdot 6,5 \cdot I_d = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 418,8 = 3266,6 \text{ А}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{3266,6}{630} = 5,2$$

Принимаем $K_o=6$

Аналогичный расчет произведем для остальных электроприемников и занесем данные в сводную ведомость аппаратов защиты и проводников (таблица 4.1).

Выбор линий электроснабжения производится с учетом соответствия аппаратам защиты исходя из номинального тока по уставке полупроводникового расцепителя.

Произведем выбор линий электроснабжения.

Линия Т1-ШНН1, 1SF

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у п} = 1 \cdot 1,25 \cdot 2500 = 3125 \text{ А,}$$

где: $I_{доп}$ – допустимый ток проводника, А; $K_{зщ}$ – коэффициент защиты, отн.ед.;
 $I_{у п}$ - номинальный ток по уставке полупроводникового расцепителя, А.

Для линии Т1-ШНН, выберем шину медную ШМТ 10x100x1500 (четыреполюсный комплект из двух полос с горизонтальным расположением каждой шины)

$$I_{доп} = I_{ном} \cdot K_{уст} = 3610 \cdot 0,92 = 3321,2 \text{ А,}$$

где: $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток проводника, А; $K_{\text{уст}}$ – коэффициент установки, отн.ед.

Расчет для линии Т2-ШНН2 произведем аналогичным образом. Результаты расчета запишем в сводную ведомость аппаратов защиты и проводников (таблица 4.1).

Проанализировав ситуацию на рынке среди производителей кабельной продукции, было принято решение использовать кабели Кольчугинского завода ОАО «Электрокабель».

Для прокладки в земле при отсутствии механических повреждений в помещениях с пожароопасной зоной опасности выбирается кабель ВВГнг, а для подвижных потребителей таких, как краны и телеги – КГ.

Линия ШНН1 – ШНН2, линия с SF1:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 2500 = 3125 \text{ А}$$

Выбираем ВВГнг-8х(4х240); $I_{\text{доп}} = 8 \cdot 435 = 3480 \text{ А}$

Расчет кабельных линий для остальных РУ и электроприемников производится аналогичным образом и результаты заносятся в сводную ведомость аппаратов защиты и проводников (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Сводная ведомость аппаратов защиты и проводников

Сводная ведомость аппаратов защиты и проводников											
Наименование линии	Расчетный ток линии, А	Наименование автоматического выключателя	Параметры автоматического выключателя							Наименование кабеля	Сечение кабеля, мм ²
			$I_{\text{н.а.}}, \text{В}$	$I_{\text{н.а.}}, \text{А}$	$I_{\text{н.р.}}, \text{А}$	$I_{\text{у(п)}}, \text{А}$	$I_{\text{у(кз)}}, \text{А}$	$I_{\text{откл.}}, \text{кА}$	$K_{\text{о}}, \text{отн.ед}$		
Т1-ШНН1	2312,1	ВА 55-45-3	380	2500	2500	3125	5000	36	-	ШМТ	10х100х1500
Т2-ШНН2	2312,1	ВА 55-45-3	380	2500	2500	3125	5000	36	-	ШМТ	10х100х1500
ШНН1-ШНН2	1766,5	ВА 55-45-3	380	2500	2500	3125	5000	36	3	ВВГнг	8х(4х240)
ШНН1-РП1	512,7	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	8	ВВГнг	2х(4х240)
ШНН1-РП2	460,4	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	8	ВВГнг	2х(4х240)
ШНН1-РП3	390,8	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	12	ВВГнг	2х(4х95)
ШНН2-РП4	249,8	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	10	ВВГнг	2х(4х95)
ШНН2-РП5	1092,2	ВА 55-45-3	380	1600	1280	1600	2560	31	4	ВВГнг	6х(4х150)
ШНН2-РП6	424,5	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	8	ВВГнг	2х(4х240)
ШНН1-ЩО	97,1	ВА 51-31-1	220	100	100	125	1000	7	-	ВВГнг	2х(2х6)
РП1-ЭМК 11	523,5	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП1-ЭПТ 18	81,5	ВА 51-31-3	380	100	100	125	1000	7	6	КГ	2х(4х10)
РП1-ЭПТ 34	90,5	ВА 51-31-3	380	100	100	125	1000	7	6	КГ	2х(4х10)
РП1-ЭМК 29	671,0	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	5	КГ	4х(4х150)

Продолжение таблицы 4.1 – Сводная ведомость аппаратов защиты и проводников

РП1-Сушило верхнее, сушило нижнее, глиномесильная установка	297,4	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	3	ВВГнг	2х(4х95)
РП1-Механизм открывания ворот	174,8	ВА 55-39-1	220	250	250	312,5	2500	25	2	ВВГнг	2х(2х25)
РП2-ЭМК 4	399,2	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	7	КРПТ	2х(4х95)
РП2-Весы	3,4	ВА 51-25-1	220	25	4	5	56	1,5	-	ВВГнг	2х1,5
РП2-ЭМК 6	353,6	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	6	КГ	2х(4х95)
РП2-ЭМК 7	510,4	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП2-ЭМК 12	595,8	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП2-ЭМК 14	625,4	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	7	КГ	4х(4х70)
РП2-ЭПТ 13	48,3	ВА 51-31-3	380	100	50	62,5	500	6	6	КГ	4х10
РП2-ЭМК 19	549,8	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП3-ЭМК 20	671,0	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	5	КГ	4х(4х150)
РП3-ЭМК 30	170,3	ВА 55-39-3	380	250	250	312,5	2500	25	5	КГ	4х150
РП3-ЭМК 31	353,6	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	6	КГ	2х(4х95)
РП3-ЭМК 35	353,6	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	6	КГ	2х(4х95)
РП3-ХТС 36	166,4	ВА 55-39-3	380	250	250	312,5	2500	25	5	ВВГнг	4х150
РП4-ЭМК 37	353,6	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	6	КГ	2х(4х95)
РП4-ЭПТ 38	7,5	ВА 51-25-3	380	25	10	12	100	2,5	5	КГ	4х1,5
РП4-ЭМК 32	526,9	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП4-ЭМК 33	526,9	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП4-ХТС 23	18,5	ВА 51-25-3	380	25	20	24	200	3	6	ВВГнг	4х1,5
РП4-ЭПТ 21	22,6	ВА 51-25-3	380	25	25	30	250	3	6	КГ	4х2,5
РП5-Насосная станция печи	316,9	ВА 55-39-3	380	400	400	500	4000	25	5	ВВГнг	2х(4х95)
РП5-ХТС 24	697,3	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	5	ВВГнг	4х(4х150)
РП5-ЭМК 25	638,5	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	4	КГ	4х(4х150)
РП5-ЭМК 16	526,9	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП5-ЭМК 17	526,9	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	КГ	4х(4х70)
РП5-ЭМК 22	432,3	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	5	КГ	4х(4х70)
РП5-ЭПТ 8	90,5	ВА 51-31-3	380	100	100	125	1000	7	6	КГ	2х(4х10)
РП6-ЭМК 27	432,3	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	5	КГ	4х(4х70)
РП6-ЭПТ 28	90,5	ВА 51-31-3	380	100	100	125	1000	7	6	КГ	2х(4х10)
РП6-Выбивная решетка	635,0	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	2	ВВГнг	4х(4х150)
РП6-Ленточный конвейер	187,1	ВА 55-39-3	380	250	250	312,5	2500	25	5	КГ	4х150
РП6-Механизм открывания ворот	174,8	ВА 55-39-1	220	250	250	312,5	2500	25	2	ВВГнг	2х(2х25)
РП6- Пневматический насос	5,5	ВА 51-25-1	220	25	6,3	7,9	63	2	6	ВВГнг	2х1,5

Так как на РП1, РП3, РП4, РП6 находятся электроприемники с автоматическими выключателями, ток отключения которых больше, чем ток отключения линии ШНН-РП, произведем замену выключателей на данных РП в соответствии с током отключения самого мощного потребителя.

Составим сводную ведомость замененных аппаратов защиты и проводников для данных распределительных устройств.

Таблица 4.2 – Сводная ведомость замененных аппаратов защиты и проводников

Сводная ведомость замененных аппаратов защиты и проводников												
Наименование линии	Расчетный ток линии, А	Наименование автоматического выключателя	Параметры автоматического выключателя							Наименование кабеля	Сечение кабеля, мм ²	
			$I_{н.а.}, B$	$I_{н.а.}, A$	$I_{н.р.}, A$	$I_{у(п)}, A$	$I_{у(кз)}, A$	$I_{откл.}, кА$	$K_o, отн.ед$			
ШНН1-РП1	512,7	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	5	ВВГнг	4х(4х150)	
ШНН1-РП3	390,8	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	5	ВВГнг	4х(4х150)	
ШНН2-РП4	249,8	ВА 55-39-3	380	630	630	787,5	6300	25	6	ВВГнг	2х(4х240)	
ШНН2-РП6	424,5	ВА 55-41-3	380	1000	1000	1250	2000	25	5	ВВГнг	4х(4х150)	

5 Расчет токов короткого замыкания

В электроустановках во время эксплуатации оборудования могут возникать нештатные ситуации с различными видами коротких замыканий, которые сопровождаются резким увеличением тока, поэтому необходимо, чтобы устанавливаемое оборудование было устойчиво к токам короткого замыкания.

Короткое замыкание (КЗ) – это возникшее электрическое соединение между двумя точками электрической цепи с различными потенциалами. Данный вид соединения нарушает нормальную работу устройства, так как не предусмотрен его конструкцией. В трехфазных электрических сетях короткое замыкание подразделяют на однофазное, двухфазное, трехфазное и двухфазное на землю.

К основным причинам возникновения коротких замыканий можно отнести: повреждение изоляции, ошибки оперативного персонала, а также перенапряжения в схемах. В связи с коротким замыканием.

Из-за короткого замыкания резко увеличивается силы тока в цепи, повышается тепловыделение, в трехфазных сетях возникает асимметрия напряжения, а также на отдельных потребителях происходит понижение напряжения. В следствии короткого замыкания может произойти повреждение изоляции, расплавление проводов, повреждение потребителя электроэнергии, нарушается нормальный режим электроснабжения, что приводит к перерывам работы потребителей и к выпуску бракованной продукции.

В связи с этим уменьшение числа коротких замыканий, их продолжительности и тяжести является одной из основных задач в обеспечении надежности электроснабжения потребителей.

Так же «в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ расчет токов КЗ выполняют с целью проверки коммутационной аппаратуры и шинпроводов на динамическую сктойкость, проверки чувствительности»[2].

Произведем расчеты токов короткого замыкания основываясь на методические указания, рекомендованные ГОСТ 28249 – 93, выполненные для расчетов токов КЗ в сетях, напряжение которых ниже 1 кВ. Расчет значений токов коротких замыканий выполняется в трех точках:

К1 – на шинах низкого напряжения 0,4 кВ;

К2 - на вводных контактах распределительного пункта;

К3 - для самого мощного и самого близкого к ТП электроприемника.

Наиболее мощным и близким к ТП1 электроприемником для данного цеха является электро-механический кран 29, подключенный к РП1, а для ТП2 – смесительная установка ХТС 24 подключенная к РП5. Точку К3 примем вблизи электроприемника.

«При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток КЗ. Поэтому в расчетах учитывают все активные и индуктивные сопротивления короткозамкнутой цепи»[2].

Исходя из этого и вышеизложенных положений ГОСТ 28249 – 93 составим схемы для расчетов токов КЗ (Рисунок 5.1, 5.5).

5.1 Расчет параметров схемы замещения ТП1

Составим расчетную схему для ТП1 (рисунок 5.1):

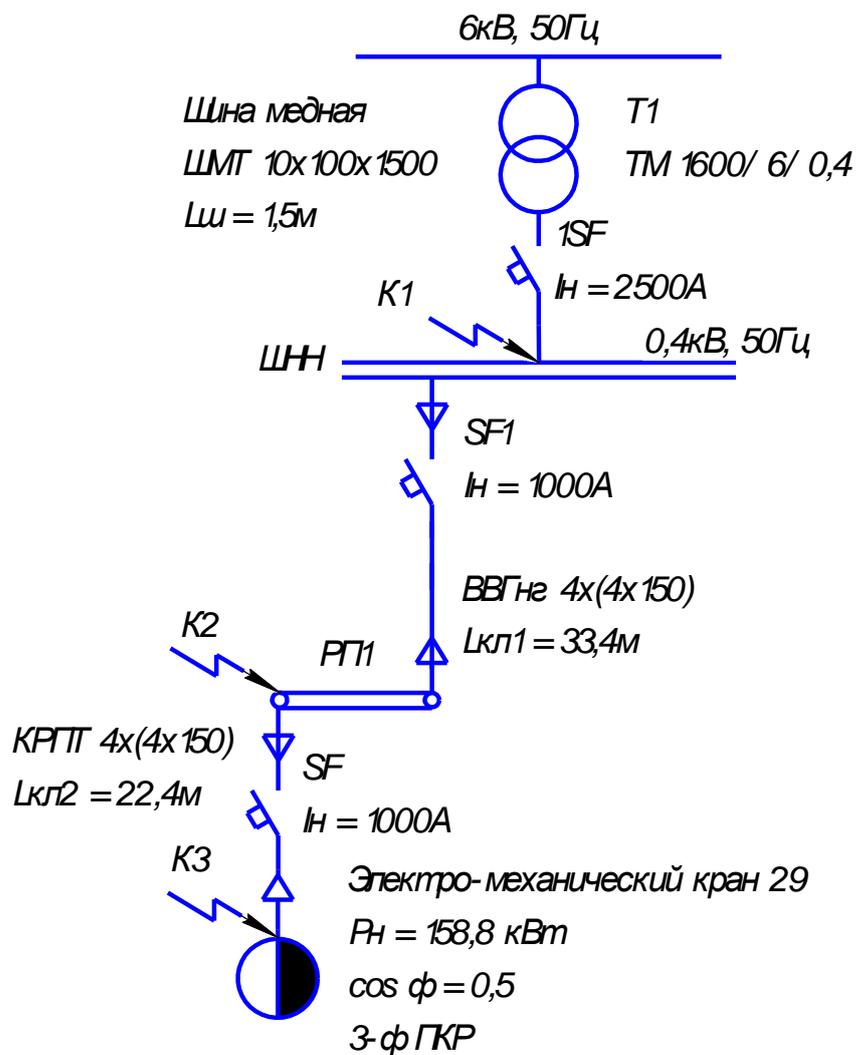


Рисунок 5.1 – Расчетная схема ЭСН

Составим схему замещения и пронумеруем точки К3 в соответствии с расчетной схемой:

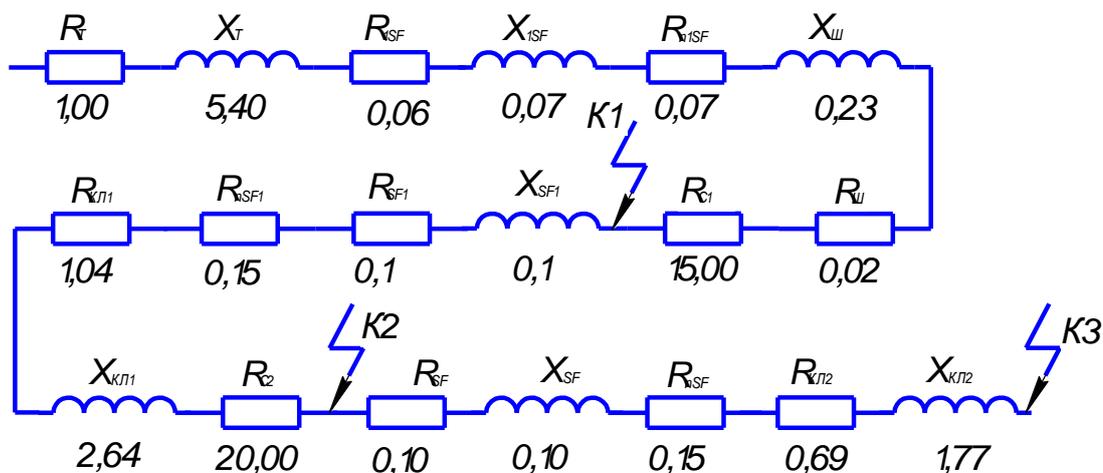


Рисунок 5.2 - Схема замещения расчетной схемы ЭСН

Запишем сопротивления для трансформатора:

$$R_T = 1 \text{ мОм} \quad X_T = 5,4 \text{ мОм} \quad Z_T^{(1)} = 44 \text{ мОм},$$

где: R_T – активное сопротивление прямой последовательности, мОм; X_T – реактивное сопротивление прямой последовательности, мОм; $Z_T^{(1)}$ – полное сопротивление току однофазного КЗ, мОм.

Запишем значения сопротивлений для автоматических выключателей:

$$1SF \quad R_a = 0,06 \text{ мОм}; X_a = 0,07 \text{ мОм}; R_n = 0,07 \text{ мОм}$$

$$SF1 \quad R_a = 0,1 \text{ мОм}; X_a = 0,1 \text{ мОм}; R_n = 0,15 \text{ мОм}$$

$$SF \quad R_a = 0,1 \text{ мОм}; X_a = 0,1 \text{ мОм}; R_n = 0,15 \text{ мОм},$$

где: R_a – активное сопротивление катушки выключателя, мОм; X_a – реактивное сопротивление катушки выключателя, мОм; R_n – активное сопротивление контактной группы выключателя, мОм.

Запишем данные для медных шин:

$$r_0 = 0,01 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,15 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$r_{0п} = 0,02 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_{0п} = 0,2 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,01 \cdot 1,5 = 0,02 \text{ мОм}$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,15 \cdot 1,5 = 0,23 \text{ мОм},$$

где: x_0 – удельное реактивное сопротивление шинпровода, мОм/м; r_0 – удельное активное сопротивление шинпровода, мОм/м; $r_{0п}$ – удельное активное сопротивление петли «фаза-ноль», мОм/м; $x_{0п}$ – удельное реактивное сопротивление петли «фаза-ноль», мОм/м; $R_{ш}$ – активное сопротивление шинпровода, мОм; $L_{ш}$ – длина шинпровода, м; $X_{ш}$ – реактивное сопротивление шинпровода, мОм.

Запишем данные для кабельных линий:

КЛ1:

$$r'_0 = 0,124 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,079 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

где: r'_0 – активное удельное сопротивление кабеля, МОм/м; x_0 – реактивное удельное сопротивление, МОм/м.

Так как схема содержит 4 параллельных кабеля, то:

$$r_0 = \frac{1}{4} \cdot r'_0 = \frac{1}{4} \cdot 0,124 = 0,031 \frac{\text{МОм}}{\text{м}};$$

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,031 \cdot 33,4 = 1,04 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,079 \cdot 33,4 = 2,64 \text{ МОм},$$

где: r_0 – приведенное активное удельное сопротивление группы кабелей, МОм/м; $R_{\text{КЛ1}}$ – активное сопротивление кабельной линии, МОм; $L_{\text{КЛ1}}$ – длина кабельной линии, м; $X_{\text{КЛ1}}$ – реактивное сопротивление кабельной линии, МОм.

КЛ2:

$$r'_0 = 0,124 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,079 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

Так как схема содержит 4 параллельных кабеля, то:

$$r_0 = \frac{1}{4} \cdot r'_0 = \frac{1}{4} \cdot 0,124 = 0,031 \frac{\text{МОм}}{\text{м}};$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,031 \cdot 22,4 = 0,69 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,079 \cdot 22,4 = 1,77 \text{ МОм},$$

где: r_0 – приведенное активное удельное сопротивление группы кабелей, МОм/м; $R_{\text{КЛ2}}$ – активное сопротивление кабельной линии, МОм; $L_{\text{КЛ2}}$ – длина кабельной линии, м; $X_{\text{КЛ2}}$ – реактивное сопротивление кабельной линии, МОм.

Сопротивления для ступеней распределения:

$$R_{c1} = 15 \text{ МОм}; R_{c2} = 20 \text{ МОм},$$

где: R_{c1} – значение переходного сопротивления на первой ступени распределения, мОм; R_{c2} – значение переходного сопротивления для второй ступени распределения, мОм.

Упростим схему замещения, вычислим активное эквивалентное и реактивное эквивалентное сопротивления находящиеся на участках между точек КЗ и нанесем их на схему (рисунок 5.3)

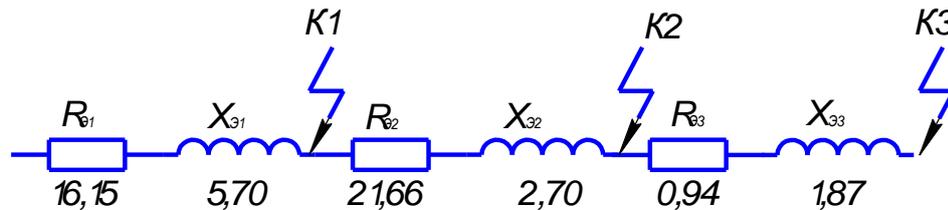


Рисунок 5.3 – Упрощенная схема замещения

$$R_{э1} = R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{c1} + R_{ш} = 1,00 + 0,06 + 0,07 + 15,00 + 0,02 = 16,15 \text{ мОм}$$

$$X_{э1} = X_T + X_{1SF} + X_{ш} = 5,40 + 0,07 + 0,23 = 5,70 \text{ мОм}$$

$$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{КЛ1} + R_{c2} = 0,10 + 0,15 + 1,04 + 20,00 = 21,29 \text{ мОм}$$

$$X_{э2} = X_{SF1} + X_{КЛ1} = 0,10 + 2,64 = 2,74 \text{ мОм}$$

$$R_{э3} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{КЛ2} = 0,10 + 0,15 + 0,69 = 0,94 \text{ мОм}$$

$$X_{э3} = X_{SF} + X_{КЛ2} = 0,10 + 1,77 = 1,87 \text{ мОм}$$

где: $R_э$ – эквивалентное активное сопротивление в точке КЗ, мОм; $X_э$ – эквивалентное реактивное сопротивление в точке КЗ, мОм.

Рассчитаем активные, реактивные и полные сопротивления до каждой из точек КЗ и занесем их значения в сводную ведомость токов КЗ (таблица 4.1):

$$R_{K1} = R_{э1} = 16,15 \text{ мОм}$$

$$X_{K1} = X_{э1} = 5,70 \text{ мОм}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{16,15^2 + 5,70^2} = 17,13 \text{ мОм}$$

$$R_{K2} = R_{э1} + R_{э2} = 16,15 + 21,29 = 37,44 \text{ мОм}$$

$$X_{K2} = X_{э1} + X_{э2} = 5,70 + 2,74 = 8,44 \text{ мОм}$$

$$Z_{k2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{37,44^2 + 8,44^2} = 38,38 \text{ мОм}$$

$$R_{K3} = R_{k2} + R_{\Sigma 3} = 37,44 + 0,94 = 38,38 \text{ мОм}$$

$$X_{K3} = X_{k2} + X_{\Sigma 3} = 8,44 + 1,87 = 10,31 \text{ мОм}$$

$$Z_{k3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{38,38^2 + 10,31^2} = 39,74 \text{ мОм}$$

где: R_K – активное сопротивление в точке КЗ, мОм; X_K – реактивное сопротивление в точке КЗ, мОм; Z_k – полное сопротивление в точке КЗ, мОм.

Найдем отношения между активными и реактивными токами КЗ:

$$\frac{R_{k1}}{X_{k1}} = \frac{16,15}{5,70} = 2,83$$

$$\frac{R_{k2}}{X_{k2}} = \frac{37,44}{8,44} = 4,44$$

$$\frac{R_{k3}}{X_{k3}} = \frac{38,38}{10,31} = 3,72$$

5.2 Расчет токов короткого замыкания ТП1

Определим ударный коэффициент и коэффициент действующего значения ударного тока для каждой из точек короткого замыкания:

$$K_{y1} = F \cdot \frac{R_{K1}}{X_{K1}} = F \cdot 2,83 = 1$$

$$K_{y2} = F \cdot \frac{R_{K2}}{X_{K2}} = F \cdot 4,44 = 1$$

$$K_{y3} = F \cdot \frac{R_{K3}}{X_{K3}} = F \cdot 3,72 = 1$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 K_{y1} - 1} = \sqrt{1 + 2 \cdot 1 - 1} = 1$$

$$q_2 = q_3 = 1$$

где: K_{y1} – ударный коэффициент в точке К1, отн.ед; K_{y2} – ударный коэффициент в точке К2, отн.ед; K_{y3} – ударный коэффициент в точке К3, отн.ед; q_1 – коэффициент действующего значения ударного тока в точке К1, отн.ед; q_2 – коэффициент действующего значения ударного тока в точке К2, отн.ед; q_3 – коэффициент действующего значения ударного тока в точке К3, отн.ед.

Определим 3-фазные и 2-фазные токи для каждой из точек КЗ и занесем их в сводную ведомость токов КЗ (таблица 4.1):

$$I_{k1}^3 = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 17,13} = 13,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^3 = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 38,38} = 5,7 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^3 = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 39,74} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{k1\infty}^3 = q_1 \cdot I_{k1}^3 = 1 \cdot 13,5 = 13,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2\infty}^3 = q_2 \cdot I_{k2}^3 = 1 \cdot 5,7 = 5,7 \text{ кА}$$

$$I_{k3\infty}^3 = q_3 \cdot I_{k3}^3 = 1 \cdot 5,5 = 5,5 \text{ кА}$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^3 = 1,41 \cdot 1 \cdot 13,5 = 19,0 \text{ кА}$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^3 = 1,41 \cdot 1 \cdot 5,7 = 8,0 \text{ кА}$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^3 = 1,41 \cdot 1 \cdot 5,5 = 7,8 \text{ кА}$$

$$I_{k1}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^3 = 0,87 \cdot 13,5 = 11,7 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^3 = 0,87 \cdot 5,7 = 5,0 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^3 = 0,87 \cdot 5,5 = 4,8 \text{ кА},$$

где: V_k – линейное напряжение в точке КЗ, кВ; I_k^3 – трехфазный ток короткого замыкания, кА; I_k^2 – двухфазный ток короткого замыкания, кА; $I_{ук}$ – действующее значение ударного тока, кА; $i_{ук}$ – ударный ток короткого замыкания, кА.

Таблица 5.1 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	R_k , мОм	X_k , мОм	Z_k , мОм	R_k/X_k	K_y	q	$I_k^{(3)}$, кА	$I_{к\infty}^{(3)}$, кА	$i_{ук}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	$Z_{п.}$, мОм	$I_k^{(1)}$, кА
К1	16,15	5,70	17,13	2,83	1	1	13,5	13,5	19,0	11,7	15,03	7,7
К2	37,44	8,44	38,38	4,44	1	1	5,7	5,7	8,0	5,0	37,44	4,2
К3	38,38	10,31	39,74	3,72	1	1	5,5	5,5	7,8	4,8	39,45	4,1

Составим схему замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рисунок 5.4):

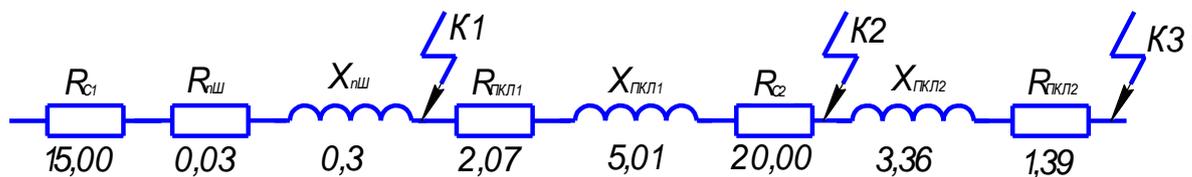


Рисунок 5.4 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Произведем расчет активных и реактивных сопротивлений петли «фаза-ноль» для кабельных линий:

$$X_{пкл1} = x_{0п} \cdot L_{кл1} = 0,15 \cdot 33,4 = 5,01 \text{ мОм}$$

$$R_{пкл1} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл1} = 2 \cdot 0,031 \cdot 33,4 = 2,07 \text{ мОм}$$

$$R_{пкл2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл2} = 2 \cdot 0,031 \cdot 22,4 = 1,39 \text{ мОм}$$

$$X_{пкл2} = x_{0п} \cdot L_{кл2} = 0,15 \cdot 22,4 = 3,36 \text{ мОм},$$

где: $X_{пкл}$ – реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельных линий, мОм; $R_{пкл}$ – активное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельных линий, мОм; $L_{кл}$ – длина кабельных линий, м; r_0 – удельное активное сопротивление кабельной линии, мОм/м; $x_{0п}$ – удельное реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельной линии, мОм/м.

Произведем расчет активных и реактивных сопротивлений петли «фаза-ноль» для медных шин:

$$R_{\text{пш}} = r_{0\text{пш}} \cdot L_{\text{ш}} = 0,02 \cdot 1,5 = 0,03 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пш}} = x_{0\text{пш}} \cdot L_{\text{ш}} = 0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ мОм},$$

где: $X_{\text{пш}}$ – реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм; $R_{\text{пш}}$ – активное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм; $L_{\text{ш}}$ – длина медной шины, м; $r_{0\text{пш}}$ – удельное активное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм/м; $x_{0\text{пш}}$ – удельное реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм/м.

Произведем расчет активных, реактивных и полных сопротивлений петли «фаза-ноль» в точках КЗ:

$$R_{\text{п1}} = R_{c1} + R_{\text{пш}} = 15 + 0,03 = 15,03 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п1}} = X_{\text{пш}} = 0,3 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п1}} = \sqrt{R_{\text{п1}}^2 + X_{\text{п1}}^2} = \sqrt{15,03^2 + 0,3^2} = 15,03 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{п1}} + R_{\text{пкл1}} + R_{c2} = 15,03 + 2,07 + 20 = 37,10 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{п1}} + X_{\text{пкл1}} = 0,3 + 5,01 = 5,31 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2} = \sqrt{37,10^2 + 5,01^2} = 37,44 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкл2}} = 37,10 + 1,39 = 38,49 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п3}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкл2}} = 5,31 + 3,36 = 8,67 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{R_{\text{п3}}^2 + X_{\text{п3}}^2} = \sqrt{38,49^2 + 8,67^2} = 39,45 \text{ мОм},$$

где: $R_{\text{п}}$ – активное сопротивление петли «фаза-ноль» в точке КЗ, мОм; $X_{\text{п}}$ – реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» в точке КЗ, мОм; $Z_{\text{п}}$ – полное сопротивление петли «фаза-ноль» в точке КЗ, мОм; R_{c1} – значение переходного сопротивления на первой ступени распределения, мОм; R_{c2} – значение переходного сопротивления для второй ступени распределения, мОм.

Рассчитаем для каждой из точек токи однофазного КЗ и занесем их в сводную ведомость токов КЗ (таблица 5.1)

$$I_{k1}^1 = \frac{V_{k\phi 1}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{п1}} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{\frac{44}{3} + 15,03} = 7,7 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^1 = \frac{V_{k\phi 2}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{п2}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{44}{3} + 37,44} = 4,2 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^1 = \frac{V_{k\phi 3}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{п3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{44}{3} + 39,45} = 4,1 \text{ кА},$$

где: $V_{k\phi}$ – фазное напряжение в точке КЗ, кВт; Z_T^1 – полное сопротивление трансформатора однофазному току КЗ, мОм; I_k^1 – ток однофазного КЗ, кА.

5.3 Расчет параметров схемы замещения ТП2

Составим расчетную схему для ТП2 (рисунок 5.5):

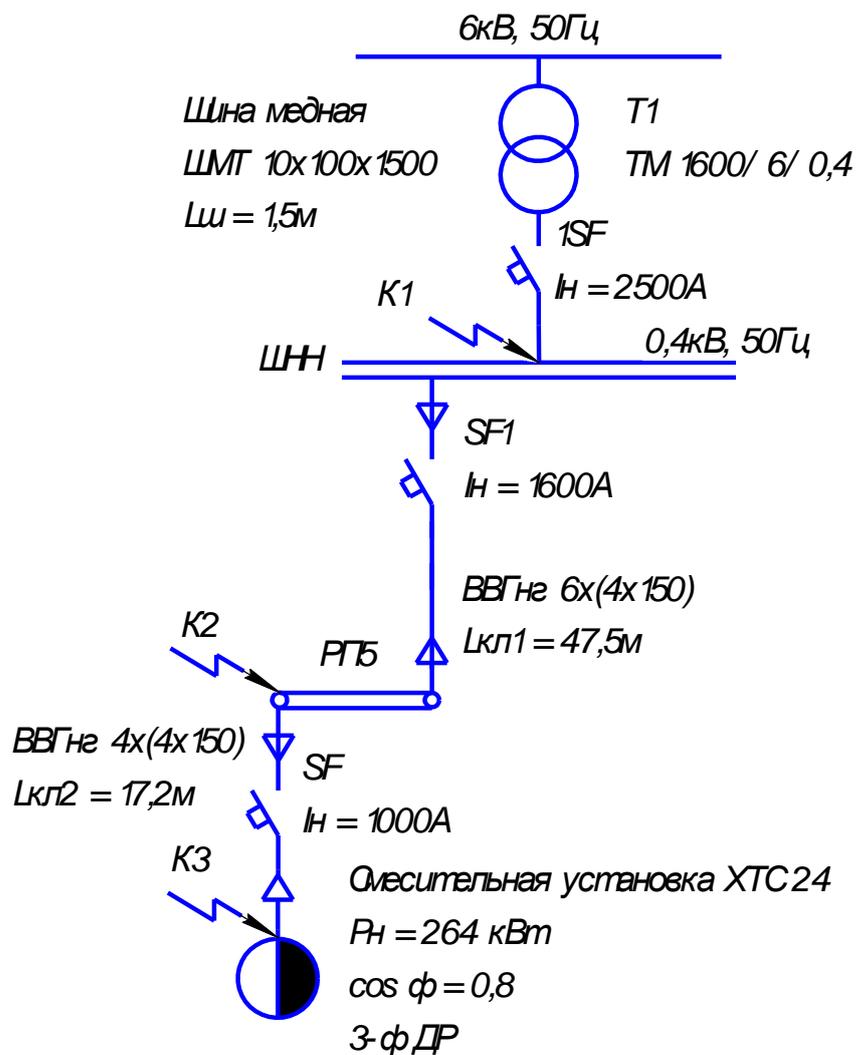


Рисунок 5.5 – Расчетная схема ЭСН

Составим схему замещения и пронумеруем точки К3 в соответствии с расчетной схемой:

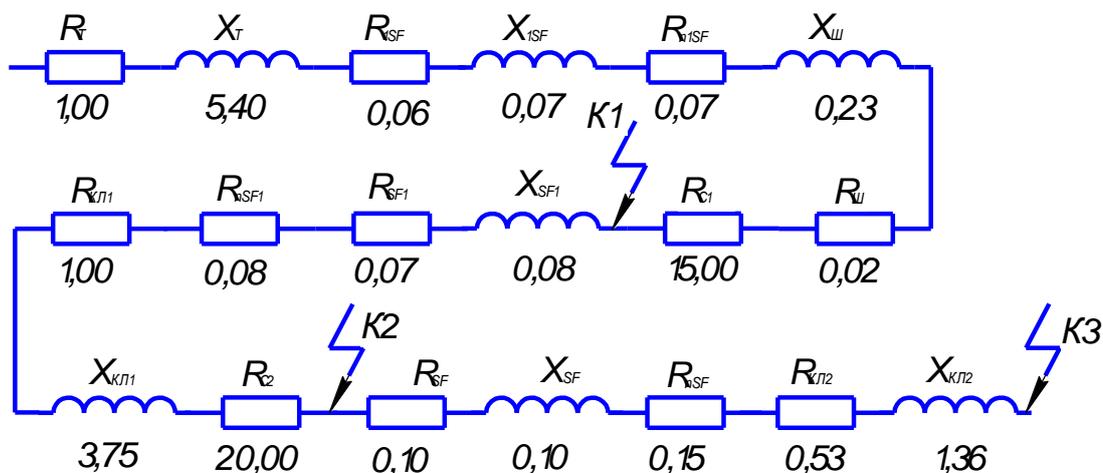


Рисунок 5.6 - Схема замещения расчетной схемы ЭСН

Запишем сопротивления для трансформатора:

$$R_T = 1 \text{ мОм} \quad X_T = 5,4 \text{ мОм} \quad Z_T^{(1)} = 44 \text{ мОм},$$

где: R_T – активное сопротивление прямой последовательности, мОм; X_T – реактивное сопротивление прямой последовательности, мОм; $Z_T^{(1)}$ – полное сопротивление току однофазного КЗ, мОм.

Запишем значения сопротивлений для автоматических выключателей:

$$1\text{SF} \quad R_a = 0,06 \text{ мОм}; X_a = 0,07 \text{ мОм}; R_n = 0,07 \text{ мОм}$$

$$\text{SF1} \quad R_a = 0,07 \text{ мОм}; X_a = 0,08 \text{ мОм}; R_n = 0,08 \text{ мОм}$$

$$\text{SF} \quad R_a = 0,1 \text{ мОм}; X_a = 0,1 \text{ мОм}; R_n = 0,15 \text{ мОм},$$

где: R_a – активное сопротивление катушки выключателя, мОм; X_a – реактивное сопротивление катушки выключателя, мОм; R_n – активное сопротивление контактной группы выключателя, мОм.

Запишем данные для медных шин:

$$r_0 = 0,01 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,15 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$r_{0п} = 0,02 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_{0п} = 0,2 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,01 \cdot 1,5 = 0,02 \text{ мОм}$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,15 \cdot 1,5 = 0,23 \text{ мОм},$$

где: x_0 – удельное реактивное сопротивление шинпровода, мОм/м; r_0 – удельное активное сопротивление шинпровода, мОм/м; $r_{0п}$ – удельное активное сопротивление петли «фаза-ноль», мОм/м; $x_{0п}$ – удельное реактивное сопротивление петли «фаза-ноль», мОм/м; $R_{ш}$ – активное сопротивление шинпровода, мОм; $L_{ш}$ – длина шинпровода, м; $X_{ш}$ – реактивное сопротивление шинпровода, мОм.

Запишем данные для кабельных линий:

КЛ1:

$$r'_0 = 0,124 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,079 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

где: r'_0 – активное удельное сопротивление кабеля, МОм/м; x_0 – реактивное удельное сопротивление, МОм/м.

Так как схема содержит 6 параллельных кабелей, то:

$$r_0 = \frac{1}{6} \cdot r'_0 = \frac{1}{6} \cdot 0,124 = 0,021 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,021 \cdot 47,5 = 1,00 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,079 \cdot 47,5 = 3,75 \text{ МОм},$$

где: r_0 – приведенное активное удельное сопротивление группы кабелей, МОм/м; $R_{\text{КЛ1}}$ – активное сопротивление кабельной линии, МОм; $L_{\text{КЛ1}}$ – длина кабельной линии, м; $X_{\text{КЛ1}}$ – реактивное сопротивление кабельной линии, МОм.

КЛ2:

$$r'_0 = 0,124 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,079 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

Так как схема содержит 4 параллельных кабеля, то:

$$r_0 = \frac{1}{4} \cdot r'_0 = \frac{1}{4} \cdot 0,124 = 0,031 \frac{\text{МОм}}{\text{м}};$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,031 \cdot 17,2 = 0,53 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,079 \cdot 17,2 = 1,36 \text{ МОм},$$

где: r_0 – приведенное активное удельное сопротивление группы кабелей, МОм/м; $R_{\text{КЛ2}}$ – активное сопротивление кабельной линии, МОм; $L_{\text{КЛ2}}$ – длина кабельной линии, м; $X_{\text{КЛ2}}$ – реактивное сопротивление кабельной линии, МОм.

Сопротивления для ступеней распределения:

$$R_{c1} = 15 \text{ МОм}; R_{c2} = 20 \text{ МОм},$$

где: R_{c1} – значение переходного сопротивления на первой ступени распределения, мОм; R_{c2} – значение переходного сопротивления для второй ступени распределения, мОм.

Упростим схему замещения, вычислим активное эквивалентное и реактивное эквивалентное сопротивления находящиеся на участках между точек КЗ и нанесем их на схему (рисунок 5.7)

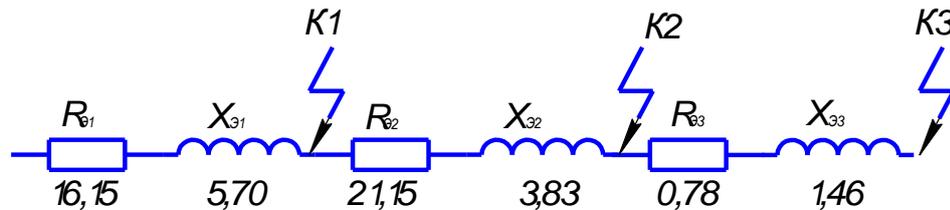


Рисунок 5.7 – Упрощенная схема замещения

$$R_{э1} = R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{c1} + R_{ш} = 1,00 + 0,06 + 0,07 + 15 + 0,02 = 16,15 \text{ мОм}$$

$$X_{э1} = X_T + X_{1SF} + X_{ш} = 5,40 + 0,07 + 0,23 = 5,70 \text{ мОм}$$

$$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{КЛ1} + R_{c2} = 0,07 + 0,08 + 1,00 + 20 = 21,15 \text{ мОм}$$

$$X_{э2} = X_{SF1} + X_{КЛ1} = 0,08 + 3,75 = 3,83 \text{ мОм}$$

$$R_{э3} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{КЛ2} = 0,10 + 0,15 + 0,53 = 0,78 \text{ мОм}$$

$$X_{э3} = X_{SF} + X_{КЛ2} = 0,10 + 1,36 = 1,46 \text{ мОм}$$

где: $R_э$ – эквивалентное активное сопротивление в точке КЗ, мОм; $X_э$ – эквивалентное реактивное сопротивление в точке КЗ, мОм.

Рассчитаем активные, реактивные и полные сопротивления до каждой из точек КЗ и занесем их значения в сводную ведомость токов КЗ (таблица 5.2):

$$R_{K1} = R_{э1} = 16,15 \text{ мОм}$$

$$X_{K1} = X_{э1} = 5,70 \text{ мОм}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{16,15^2 + 5,70^2} = 17,13 \text{ мОм}$$

$$R_{K2} = R_{э1} + R_{э2} = 16,15 + 21,15 = 37,30 \text{ мОм}$$

$$X_{K2} = X_{э1} + X_{э2} = 5,70 + 3,83 = 9,53 \text{ мОм}$$

$$Z_{k2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{37,30^2 + 9,53^2} = 38,50 \text{ мОм}$$

$$R_{K3} = R_{k2} + R_{\Sigma 3} = 37,30 + 0,78 = 38,08 \text{ мОм}$$

$$X_{K3} = X_{k2} + X_{\Sigma 3} = 9,53 + 1,46 = 10,99 \text{ мОм}$$

$$Z_{k3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{38,08^2 + 10,99^2} = 39,63 \text{ мОм}$$

где: R_K – активное сопротивление в точке КЗ, мОм; X_K – реактивное сопротивление в точке КЗ, мОм; Z_k – полное сопротивление в точке КЗ, мОм.

Найдем отношения между активными и реактивными токами КЗ:

$$\frac{R_{k1}}{X_{k1}} = \frac{16,15}{5,70} = 2,83$$

$$\frac{R_{k2}}{X_{k2}} = \frac{37,30}{9,53} = 3,91$$

$$\frac{R_{k3}}{X_{k3}} = \frac{38,08}{10,99} = 3,46$$

5.4 Расчет токов короткого замыкания ТП2

Определим ударный коэффициент и коэффициент действующего значения ударного тока для каждой из точек короткого замыкания:

$$K_{y1} = F \cdot \frac{R_{K1}}{X_{K1}} = F \cdot 2,83 = 1$$

$$K_{y2} = F \cdot \frac{R_{K2}}{X_{K2}} = F \cdot 3,91 = 1$$

$$K_{y3} = F \cdot \frac{R_{K3}}{X_{K3}} = F \cdot 3,46 = 1$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 K_{y1} - 1} = \sqrt{1 + 2 \cdot 1 - 1} = 1$$

$$q_2 = q_3 = 1$$

где: K_{y1} – ударный коэффициент в точке К1, отн.ед; K_{y2} – ударный коэффициент в точке К2, отн.ед; K_{y3} – ударный коэффициент в точке К3, отн.ед; q_1 – коэффициент действующего значения ударного тока в точке К1, отн.ед; q_2 – коэффициент действующего значения ударного тока в точке К2, отн.ед; q_3 – коэффициент действующего значения ударного тока в точке К3, отн.ед.

Определим 3-фазные и 2-фазные токи для каждой из точек КЗ и занесем их в сводную ведомость токов КЗ (таблица 5.2):

$$I_{k1}^3 = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 17,13} = 13,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^3 = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 38,50} = 5,7 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^3 = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 39,63} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{k1\infty}^3 = q_1 \cdot I_{k1}^3 = 1 \cdot 13,5 = 13,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2\infty}^3 = q_2 \cdot I_{k2}^3 = 1 \cdot 5,7 = 5,7 \text{ кА}$$

$$I_{k3\infty}^3 = q_3 \cdot I_{k3}^3 = 1 \cdot 5,5 = 5,5 \text{ кА}$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^3 = 1,41 \cdot 1 \cdot 13,5 = 19,0 \text{ кА}$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^3 = 1,41 \cdot 1 \cdot 5,7 = 8,0 \text{ кА}$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^3 = 1,41 \cdot 1 \cdot 5,5 = 7,8 \text{ кА}$$

$$I_{k1}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^3 = 0,87 \cdot 13,5 = 11,7 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^3 = 0,87 \cdot 5,7 = 5,0 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^3 = 0,87 \cdot 5,5 = 4,8 \text{ кА},$$

где: V_k – линейное напряжение в точке КЗ, кВ; I_k^3 – трехфазный ток короткого замыкания, кА; I_k^2 – двухфазный ток короткого замыкания, кА; $I_{k\infty}^3$ – действующее значение ударного тока, кА; $i_{ук}$ – ударный ток короткого замыкания, кА.

Таблица 5.2 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	R_k , мОм	X_k , мОм	Z_k , мОм	R_k/X_k	K_y	q	$I_k^{(3)}$, кА	$I_{k\infty}^{(3)}$, кА	$i_{ук}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	$Z_{п.}$, мОм	$I_k^{(1)}$, кА
К1	16,15	5,70	17,13	2,83	1	1	13,5	13,5	19,0	11,7	15,03	7,7
К2	37,30	9,53	38,50	3,91	1	1	5,7	5,7	8,0	5,0	37,77	4,2
К3	38,08	10,99	39,63	3,46	1	1	5,5	5,5	7,8	4,8	39,39	4,1

Составим схему замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рисунок 5.8):

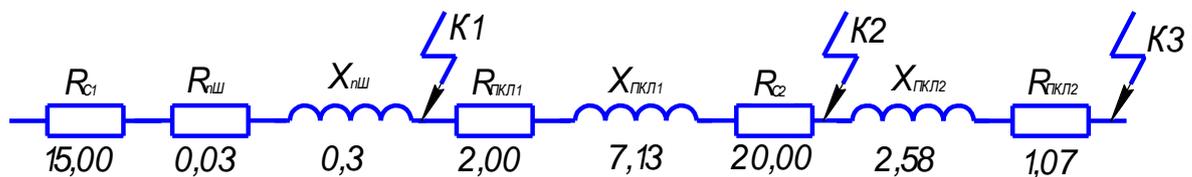


Рисунок 5.8 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Произведем расчет активных и реактивных сопротивлений петли «фаза-ноль» для кабельных линий:

$$X_{пкл1} = x_{0п} \cdot L_{кл1} = 0,15 \cdot 47,5 = 7,13 \text{ мОм}$$

$$R_{пкл1} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл1} = 2 \cdot 0,021 \cdot 47,5 = 2,00 \text{ мОм}$$

$$R_{пкл2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл2} = 2 \cdot 0,031 \cdot 17,2 = 1,07 \text{ мОм}$$

$$X_{пкл2} = x_{0п} \cdot L_{кл2} = 0,15 \cdot 17,2 = 2,58 \text{ мОм},$$

где: $X_{пкл}$ – реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельных линий, мОм; $R_{пкл}$ – активное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельных линий, мОм; $L_{кл}$ – длина кабельных линий, м; r_0 – удельное активное сопротивление кабельной линии, мОм/м; $x_{0п}$ – удельное реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельной линии, мОм/м.

Произведем расчет активных и реактивных сопротивлений петли «фаза-ноль» для медных шин:

$$R_{\text{пш}} = r_{0\text{пш}} \cdot L_{\text{ш}} = 0,02 \cdot 1,5 = 0,03 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пш}} = x_{0\text{пш}} \cdot L_{\text{ш}} = 0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ мОм},$$

где: $X_{\text{пш}}$ – реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм; $R_{\text{пш}}$ – активное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм; $L_{\text{ш}}$ – длина медной шины, м; $r_{0\text{пш}}$ – удельное активное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм/м; $x_{0\text{пш}}$ – удельное реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» для медной шины, мОм/м.

Произведем расчет активных, реактивных и полных сопротивлений петли «фаза-ноль» в точках КЗ:

$$R_{\text{п1}} = R_{c1} + R_{\text{пш}} = 15 + 0,03 = 15,03 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п1}} = X_{\text{пш}} = 0,3 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п1}} = \sqrt{R_{\text{п1}}^2 + X_{\text{п1}}^2} = \sqrt{15,03^2 + 0,3^2} = 15,03 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{п1}} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{c2} = 15,03 + 2,00 + 20,00 = 37,03 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{п1}} + X_{\text{пкЛ1}} = 0,3 + 7,13 = 7,43 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2} = \sqrt{37,03^2 + 7,43^2} = 37,77 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкЛ2}} = 37,03 + 1,07 = 38,10 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п3}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкЛ2}} = 7,43 + 2,58 = 10,01 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{R_{\text{п3}}^2 + X_{\text{п3}}^2} = \sqrt{38,10^2 + 10,01^2} = 39,39 \text{ мОм},$$

где: $R_{\text{п}}$ – активное сопротивление петли «фаза-ноль» в точке КЗ, мОм; $X_{\text{п}}$ – реактивное сопротивление петли «фаза-ноль» в точке КЗ, мОм; $Z_{\text{п}}$ – полное сопротивление петли «фаза-ноль» в точке КЗ, мОм; R_{c1} – значение переходного сопротивления на первой ступени распределения, мОм; R_{c2} – значение переходного сопротивления для второй ступени распределения, мОм.

Рассчитаем для каждой из точек токи однофазного КЗ и занесем их в сводную ведомость токов КЗ (таблица 5.2)

$$I_{k1}^1 = \frac{V_{k\phi 1}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{п1}} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{\frac{44}{3} + 15,03} = 7,7 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^1 = \frac{V_{k\phi 2}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{п2}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{44}{3} + 37,77} = 4,2 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^1 = \frac{V_{k\phi 3}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{п3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{44}{3} + 39,39} = 4,1 \text{ кА},$$

где: $V_{k\phi}$ – фазное напряжение в точке КЗ, кВТ; Z_T^1 – полное сопротивление трансформатора однофазному току КЗ, мОм; I_k^1 – ток однофазного КЗ, кА.

6 Проверка элементов сети металлургического производства

Произведем проверку выбранных шин, проводников и аппаратов защиты в критических условиях режима работы. Для этого произведем проверку автоматических выключателей на надежность срабатывания, отключающую способность и отстройку от пусковых токов. Проводники проверим на соответствие выбранному аппарату защиты и термическую стойкость. Шинопроводы проверим на термическую и динамическую стойкость. Линию ЭСН проверим по величине потери напряжения.

Произведем проверку автоматических выключателей для ТП1.

Проверка на надежность срабатывания:

$$I_{k1}^1 \geq 3 \cdot I_{н.р} \text{ } 1SF ; 7,7 > 3 \cdot 2,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^1 \geq 3 \cdot I_{н.р} \text{ } SF1 ; 4,2 > 3 \cdot 1 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^1 \geq 3 \cdot I_{н.р} \text{ } SF ; 4,1 > 3 \cdot 1 \text{ кА},$$

где: I_k^1 – ток однофазного КЗ, кА; $I_{н.р}$ – номинальный ток расцепителя, кА.

Надежность срабатывания всех автоматических выключателей обеспечена.

Проверка на отключающую способность:

$$I_{\text{откл } 1SF} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k1\infty}^3; 36 > 1,41 \cdot 13,5 \text{ кА}$$

$$I_{\text{откл } SF1} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k2\infty}^3; 25 > 1,41 \cdot 5,7 \text{ кА}$$

$$I_{\text{откл } SF} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k3\infty}^3; 25 > 1,41 \cdot 5,5 \text{ кА},$$

где: $I_{\text{откл}}$ – номинальная предельная наибольшая отключающая способность, кА; $I_{k\infty}^3$ – действующее значение ударного тока, кА.

Все автоматические выключатели при КЗ отключаются без разрушения.

Отстройка по пусковым токам была учтена при выборе коэффициента отстройки для каждого автомата.

Произведем проверку автоматических выключателей для ТП2.

Проверка на надежность срабатывания:

$$I_{k1}^1 \geq 3 \cdot I_{\text{н.р } 1SF}; 7,7 > 3 \cdot 2,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^1 \geq 3 \cdot I_{\text{н.р } SF1}; 4,2 > 3 \cdot 1,3 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^1 \geq 3 \cdot I_{\text{н.р } SF}; 4,1 > 3 \cdot 1 \text{ кА}$$

Надежность срабатывания всех автоматических выключателей обеспечена.

Проверка на отключающую способность:

$$I_{\text{откл } 1SF} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k1\infty}^3; 36 > 1,41 \cdot 13,5 \text{ кА}$$

$$I_{\text{откл } SF1} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k2\infty}^3; 25 > 1,41 \cdot 5,7 \text{ кА}$$

$$I_{\text{откл } SF} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k3\infty}^3; 25 > 1,41 \cdot 5,5 \text{ кА}$$

Все автоматические выключатели при КЗ отключаются без разрушения.

Отстройка по пусковым токам была учтена при выборе коэффициента отстройки для каждого автомата.

Произведем проверку проводников на ТП1.

Проверка на термическую стойкость:

Кабельная линия ШНН1-РП1:

$$S_{\text{КЛ1}} \geq S_{\text{КЛ1.тс}}; 2 \cdot 240 > 64,0 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{КЛ1.тс}} = \alpha \cdot I_{\text{к2}\infty}^3 \cdot \overline{t_{\text{пр1}}} = 6 \cdot 5,7 \cdot \overline{3,5} = 64,0 \text{ мм}^2,$$

где: $S_{\text{КЛ}}$ – фактическое сечение кабельной линии, мм^2 ; $S_{\text{КЛ.тс}}$ – термически стойкое сечение кабельной линии, мм^2 ; α – термический коэффициент, отн.ед.; $t_{\text{пр}}$ – приведенное время действия тока КЗ, с.; $I_{\text{к}\infty}^3$ – действующее значение ударного тока, кА.

Кабельная линия РП1-Электро-механический кран 29:

$$S_{\text{КЛ2}} \geq S_{\text{КЛ2.тс}}; 4 \cdot 150 > 43,0 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{КЛ2.тс}} = \alpha \cdot I_{\text{к3}\infty}^3 \cdot \overline{t_{\text{пр2}}} = 6 \cdot 5,5 \cdot \overline{1,7} = 43,0 \text{ мм}^2$$

Проверка на термическую стойкость пройдена. Все проводники удовлетворяют требованиям ПУЭ.

Проверка кабелей на соответствие выбранному автоматическому выключателю была произведена при выборе сечения кабеля.

Произведем проверку проводников на ТП2.

Проверка на термическую стойкость:

Кабельная линия ШНН2-РП5:

$$S_{\text{КЛ1}} \geq S_{\text{КЛ1.тс}}; 6 \cdot 150 > 64,0 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{КЛ1.тс}} = \alpha \cdot I_{\text{к2}\infty}^3 \cdot \overline{t_{\text{пр1}}} = 6 \cdot 5,7 \cdot \overline{3,5} = 64,0 \text{ мм}^2$$

Кабельная линия РП5-Смесительная установка ХТС 24:

$$S_{\text{КЛ2}} \geq S_{\text{КЛ2.тс}}; 4 \cdot 150 > 43,0 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{КЛ2.тс}} = \alpha \cdot I_{\text{к3}\infty}^3 \cdot \overline{t_{\text{пр2}}} = 6 \cdot 5,5 \cdot \overline{1,7} = 43,0 \text{ мм}^2$$

Проверка на термическую стойкость пройдена. Все проводники удовлетворяют требованиям ПУЭ.

Проверка кабелей на соответствие выбранному автоматическому выключателю была произведена при выборе сечения кабеля.

Так как ШНН1 и ШНН2 на ТП1 и ТП2 выбраны одинаковые, то произведем общую проверку для шин низкого напряжения.

Проверим шинопроводы на динамическую стойкость:

$$\sigma_{\text{ш.доп}} \geq \sigma_{\text{ш}}; 14 \cdot 10^3 > 0,4 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2$$

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{макс}}}{W} = \frac{6335,7}{16,7} = 379,4 \text{ Н/см}^2$$

$$M_{\text{макс}} = 0,125 \cdot F_{\text{м}}^3 \cdot l = 0,125 \cdot 337,9 \cdot 1,5 \cdot 10^2 = 6335,7 \text{ Н} \cdot \text{см}$$

$$F_{\text{м}}^3 = 0,176 \cdot \frac{l}{a} \cdot i_{\text{ук}2}^2 = 0,176 \cdot \frac{3 \cdot 10^2}{10} \cdot 8,0^2 = 337,9 \text{ Н}$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{10 \cdot 10^{-1} \cdot 100 \cdot 10^{-1}^2}{6} = 16,7 \text{ см}^3,$$

где: $\sigma_{\text{ш.доп}}$ – допустимое механическое напряжение в шинопроводе, Н/см²; $\sigma_{\text{ш}}$ – фактическое механическое напряжение в шинопроводе, Н/см²; $M_{\text{макс}}$ – наибольший изгибающий момент, Н×см; W – момент сопротивления сечения, см³; $F_{\text{м}}^3$ – максимальное усилие, Н; l – длина пролета между соседними опорами, см; a – расстояние между осями шин, см; $i_{\text{ук}}$ – трехфазный ударный ток короткого замыкания, кА; b – ширина шинопровода, см; h – высота шинопровода, см.

Проверка на динамическую стойкость пройдена.

Произведем проверку ШНН1 и ШНН2 на термическую стойкость:

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{ш.тс}}; 1000 > 64,0 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{ш}} = b \cdot h = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{ш.тс}} = \alpha \cdot I_{\text{к}2\infty}^3 \cdot \overline{t_{\text{пр}}} = 6 \cdot 5,7 \cdot \overline{3,5} = 64,0 \text{ мм}^2,$$

где: $S_{ш}$ – фактическое сечение шинпровода, мм²; $S_{ш.тс}$ – термически стойкое сечение шинпровода, мм²; α – термический коэффициент, отн.ед.; $t_{пр}$ – приведенное время действия тока КЗ, с.; $I_{к\infty}^3$ – действующее значение ударного тока, кА.

Проверка на термическую стойкость пройдена. Шины низкого напряжения ТП1 и ТП2 пригодны для использования.

Произведем проверку потерь напряжения в системе электроснабжения ТП1:

$$\begin{aligned} \Delta V_{кл1} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_H} \cdot I_1 \cdot L_{кл1} \cdot r_{01} \cdot \cos \varphi + x_{01} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 466,1 \cdot 33,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,031 \cdot 0,95 + 0,079 \cdot 0,31 = \\ &= 0,4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{ш} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_H} \cdot I_1 \cdot L_{ш} \cdot r_{0ш} \cdot \cos \varphi + x_{0ш} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 466,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 \cdot 0,95 + 0,15 \cdot 0,31 = 0,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{кл2} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_H} \cdot I_2 \cdot L_{кл2} \cdot r_{02} \cdot \cos \varphi + x_{02} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 536,8 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,031 \cdot 0,95 + 0,079 \cdot 0,31 = \\ &= 0,3\% \end{aligned}$$

$$\Delta V = \Delta V_{кл1} + \Delta V_{ш} + \Delta V_{кл2} = 0,4 + 0,02 + 0,3 = 0,72\%$$

$$\Delta V \leq \Delta V_{доп}; 0,72 < 10\%,$$

где: ΔV – потеря напряжения, %; V_H – номинальное напряжение, В; I – ток участка, А; L – длина участка, км; r_0 – удельное активное сопротивление участка, Ом/км; x_0 – удельное индуктивное сопротивление участка, Ом/км; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, отн.ед.; $\sin \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, отн.ед.

Проверка линии ЭСН в ТП1 по потере напряжения пройдена. Потеря напряжения согласно ПУЭ составляет меньше 10%.

Произведем проверку потерь напряжения в системе электроснабжения ТП2:

$$\begin{aligned}\Delta V_{\text{кл1}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_{\text{H}}} \cdot I_1 \cdot L_{\text{кл1}} \cdot r_{01} \cdot \cos \varphi + x_{01} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 992,9 \cdot 47,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,021 \cdot 0,95 + 0,079 \cdot 0,31 = \\ &= 1,0\% \\ \Delta V_{\text{ш}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_{\text{H}}} \cdot I_1 \cdot L_{\text{ш}} \cdot r_{0\text{ш}} \cdot \cos \varphi + x_{0\text{ш}} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 992,9 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 \cdot 0,95 + 0,15 \cdot 0,31 = 0,04\% \\ \Delta V_{\text{кл2}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_{\text{H}}} \cdot I_2 \cdot L_{\text{кл2}} \cdot r_{02} \cdot \cos \varphi + x_{02} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 557,8 \cdot 17,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,031 \cdot 0,95 + 0,079 \cdot 0,31 = \\ &= 0,2\% \\ \Delta V &= \Delta V_{\text{кл1}} + \Delta V_{\text{ш}} + \Delta V_{\text{кл2}} = 1,0 + 0,04 + 0,2 = 1,24\% \\ \Delta V &\leq \Delta V_{\text{доп}}; 1,24 < 10\%\end{aligned}$$

Проверка линии ЭСН в ТП2 по потере напряжения пройдена. Потеря напряжения согласно ПУЭ составляет меньше 10%.

7 Система заземления и молниезащиты

В качестве устройства защитного заземления было решено использовать двухконтурную систему заземления. Первый контур заземления выполнен в виде ошиновки по внутреннему периметру здания стальной шиной сечением 24 мм² и толщиной 3 мм². Второй контур выполняется в виде стальных штырей из арматуры забитых вертикально в грунт на 1,5м, которые в свою очередь соединены между собой стальной полосой при помощи сварки.

Первоначально на производстве в качестве устройства заземления использовались металлические трубы предназначенные для газоснабжения и водоснабжения, а также арматура в составе фундамента здания. Было принято решение переработать систему заземления в связи с соображениями по технике безопасности для рабочего персонала.

Система молниезащиты была разработана во время проектировки и строительства здания и реконструкции не подвергалась. Молниезащита сталелитейного цеха выполнена в виде молниеприемной сетки, расположенной на крыше по периметру здания, которая присоединяется к контуру заземления. Шаг ячейки сетки составляет 2 метра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была рассчитана система электроснабжения металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш» и построена модель освещения в программном комплексе DIALux для всех помещений сталелитейного цеха. Нагрузка на трансформаторные подстанции с учетом освещения составила 2056,6 кВА. В трансформаторных подстанциях было решено использовать для электроснабжения два трансформатора типа ТМ 1600/6/0,4. В качестве устройств компенсации реактивной мощности было принято решение использовать конденсаторные установки УKM58-0,4-180-30УЗ в количестве двух штук.

В качестве источников освещения были выбраны светодиодные светильники фирмы Световые технологии различной мощности марки HB LED для помещений с высотой потолков 11,2 метра и ALS.PRS UNI для помещений с высотой потолков 3,6 метра. В качестве защитного оборудования производства были выбраны автоматические выключатели производителя IEK моделей BA55-45-3, BA55-39-3, BA55-43-3, BA51-31-3, BA55-41-3, BA51-25-3, BA51-25-1.

Был произведен выбор линий электроснабжения. Для соединения трансформаторных подстанций с шинами низкого напряжения использовались шины медные марки ШМТ 10x100x1500 (собранные в четырехполюсный комплект из двух полос с горизонтальным расположением каждой шины), а для обеспечения питания цехового оборудования использовались кабельные линии двух типов. Для стационарного оборудования использовались кабельные линии с кабелями марки ВВГнг, а для подвижных потребителей – кабели марки КГ. В качестве производителя кабельной продукции был выбран Кольчугинский завод ОАО «Электрокабель».

Произведен анализ существующей системы заземления и молниезащиты. Молниезащита металлургического производства выполнена в соответствии со всеми нормами ПУЭ. Было принято решение не производить замену системы молниезащиты. Система заземления была заменена на новую соответствующую всем нормам ПУЭ и требованиям по безопасности жизнедеятельности для рабочего персонала. Было принято решение использовать систему заземления двухконтурного типа. Первый контур выполнен в виде ошиновки по внутреннему периметру здания стальной шиной сечением 24 мм² и толщиной 3 мм². Второй контур выполнен в виде стальных штырей из арматуры, забитых вертикально в грунт на 1,5 метра и соединенных между собой стальной полосой.

Расчет системы электроснабжения металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш» выполнен, цели и задачи, поставленные в задании на выпускную квалификационную работу, достигнуты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РФ. Росстандарт. ГОСТ Р 56944-2016. Краны грузоподъемные. Пути рельсовые крановые надземные. Общие технические условия : утв. приказом № 463-ст от 01.06.2017.– М.: Стандартинформ, 2013. 44 с.
2. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М.: КноРус, 2016. 368с.
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение. Учебник. М.: МЭИ, 2014. 512с.
4. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. М.: Академия, 2013. 368с.
5. Киреева Э.А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов). М.: КноРус, 2014. 868с.
6. Фролов Ю.М. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу. М.: Лань, 2013. 368 с.
7. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения. – М.: ДРОФА, 2013. 288 с.
8. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника. М.: Academia, 2013. 400 с.
9. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. Учебное пособие. М.: Форум, 2014. 216 с.
10. Кудрин Б.И. Электроснабжение. Учебник. М.: Academia, 2015. 352 с.
11. Вакулко А.Г. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения. М.: Теплоэнергетик, 2014. 304с.
12. Сивков А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 174 с.

13. Milardovich N. J. Calculation of harmonic losses and ampacity in low-voltage power cables when used for feeding large LED lighting loads. France: Advanced Electromagnetics, 2014. 7 p.
14. Jesús Rodríguez-Molina. A Study on Applicability of Distributed Energy Generation, Storage and Consumption within Small Scale Facilities. Switzerland: Energies, 2016. 35 p.
15. Chraygane M. Improved modeling of new three-phase high voltage transformer with magnetic shunts. Poland: Archives of Electrical Engineering, 2015. 16 p.
16. Jooyoung P. Dynamic Power Management for Portable Hybrid Power-Supply. Systems Utilizing Approximate Dynamic Programming. Switzerland: Energies, 2015. 21 p.
17. Jing-yu Liu. An Optimization Model Based on Electric Power Generation in Steel Industry. Egypt: Mathematical Problems in Engineering, 2014. 11 p.
18. Воробьев В.А. Электрические нагрузки предприятий. М.: LAP, 2014. 72 с.
19. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Рыбалко Т.А., Самолина О.В. Проектирование осветительных установок : электронное учеб. пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 107 с.
20. Свенчанский А. Д., Смелянский М.Я. Электрические промышленные печи. Часть 2. Дуговые печи. Учебное пособие. М.: Энергия, 2016. 264 с.