

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))/(специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электроснабжение группы цехов плавильного комбината»

Студент

Д.А. Спирин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.И. Платов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

В настоящей бакалаврской работе выполнено проектирование системы электроснабжения группы цехов плавильного комбината, расположенного в Среднем Поволжье. Необходимость данного исследования обусловлена значительной реконструкцией объекта, заменой части его основного оборудования на новое, отличающееся более сложными требованиями к надежности и экономичности.

На основе проведенного анализа особенностей работы каждого цеха комбината с учетом суточных колебаний энергопотребления его элементов сформулированы принципы построения системы электроснабжения, в наибольшей степени отвечающей предъявляемым требованиям. Расчет электрических нагрузок показал, что в отдельных случаях силовые трансформаторы целесообразно разместить в непосредственной близости от потребителей электроэнергии. По этой причине прежняя отдельная трансформаторная подстанция заменена на внутреннюю на территории медеплавильного цеха а часть трансформаторов размещена в других цехах.

Существенному обновлению также подверглось коммутационное оборудование и система освещения.

Выпускная квалификационная работа включает пояснительную записку на 52 страницах, включающую 22 таблицы, 13 рисунков, 24 использованных источника. Графическая часть состоит из 6 листов формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Общие сведения об объекте проектирования	6
1.1 Характеристика производственного процесса.....	6
1.2 Характеристика потребителей электроэнергии.....	10
2. Проектирование системы электроснабжения	15
2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия	15
2.2 Выбор схемы электроснабжения и ее элементов	22
2.2.1 Анализ существующей системы электроснабжения.....	22
2.2.2 Выбор элементов новой системы электроснабжения	25
3 Выбор коммутационных аппаратов	32
3.1 Расчет токов короткого замыкания.....	32
3.2 Выбор выключателей и разъединителей	38
3.2.1 Выбор выключателей	38
3.2.2 Выбор разъединителей.....	41
4 Система освещения и экономическая оценка проекта	43
4.1 Система освещения медеплавильного цеха	43
4.2 Экономический анализ проекта	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Современная действительность немыслима без электричества, а данный вид энергии предполагает использование огромного количества меди для обмоток электрических машин, различных кабелей, шин и другого электрооборудования. Кроме электротехники, медь, благодаря своим ценным свойствам, применяется и в других отраслях промышленности – химической, автомобильной, пищевой и т.д. Поэтому производство этого ценного металла является важнейшей стратегической задачей государства.

Медь производят из руды, а также в целях экономии переплавляют медный лом. Эта работа выполняется на нескольких медеплавильных комбинатах, один из которых находится в Среднем Поволжье [12]. В настоящее время на комбинате происходит активная модернизация, поскольку многое оборудование пришлось заменить на более совершенное и экономичное. Одним из аспектов модернизации является внедрение новой системы электроснабжения.

В настоящей бакалаврской работе проведен анализ потребностей группы цехов Средневолжского медеплавильного комбината в электроэнергии и разработаны предложения по созданию системы его электроснабжения, обеспечивающей эффективную работу предприятия.

В первом разделе исследован режим работы оборудования предприятия, определяющий особенности функционирования системы электроснабжения.

Во втором разделе на основе графиков электрических нагрузок цехов рассчитаны потребляемые подразделениями комбината мощности. В системе электроснабжения выделены две подсистемы – напряжением 6 кВ, обеспечивающая компрессоры воздуходувной станции и основная - напряжением 400 В. При реконструкции наиболее сложным с точки зрения электроснабжения объектом стала установленная в ходе модернизации индукционная плавильная печь мощностью 2,5 МВт напряжением 400 В.

Для минимизации потерь при транспортировке энергии было принято решение разместить распределительные устройства в медеплавильном цехе, в непосредственной близости от указанной печи.

Проведенный расчет электрических нагрузок [4] позволил определить структуру системы электроснабжения и обосновать выбор ее компонентов – трансформаторов, кабелей и коммутационного оборудования.

Одной из частных задач стало проектирование системы освещения медеплавильного цех, так как он подвергся наибольшей реконструкции.

В заключение были подсчитаны расходы – реконструкция системы электроснабжения обойдется комбинату в 34 миллиона рублей.

1 Общие сведения об объекте проектирования

1.1 Характеристика производственного процесса

Получение меди из руды включает несколько последовательных процессов. Основными из них являются обогащение и обжиг руды, получение черновой меди и ее рафинирование. На Средневолжском медеплавильном комбинате реализуются лишь два последних, а подготовленная руда доставляется по железной дороге, проходящей через территорию предприятия.

Подразделения комбината можно разделить на основные и вспомогательные. Основные непосредственно реализуют процесс получения металла, а вспомогательные обеспечивают работу основных. Производственный процесс заключается в нагреве руды до температуры 1450°С, продувке расплавленного материала в конверторах и получении чистого металла путем гальванизации черновой меди. Основными подразделениями комбината являются медеплавильный и гальванический цеха. В медеплавильном цеху осуществляется выплавка черновой меди из руды в печах Ванюкова и конверторах с последующей процедурой рафинирования в гальваническом цеху.

В 2019 году на комбинате была проведена реконструкция, в ходе которой изменился состав оборудования. Это и обусловило необходимость глубокой реконструкции системы электроснабжения.

Генеральный план комбината до реконструкции показан на рисунке 1, а номинальные мощности основных потребителей электроэнергии приведены в таблицах 1 и 2. На рисунке зачеркнут электросиловой цех, сокращенный по плану реконструкции.

До модернизации комбинат, кроме выплавки меди, проводил переработку алюминиевого лома, для чего в его составе имелись 3 карусельных печи «ScrapManager» мощностью 800 кВт каждая. Эти печи

были выпущены в 1982 году и практически полностью выработали свой ресурс.

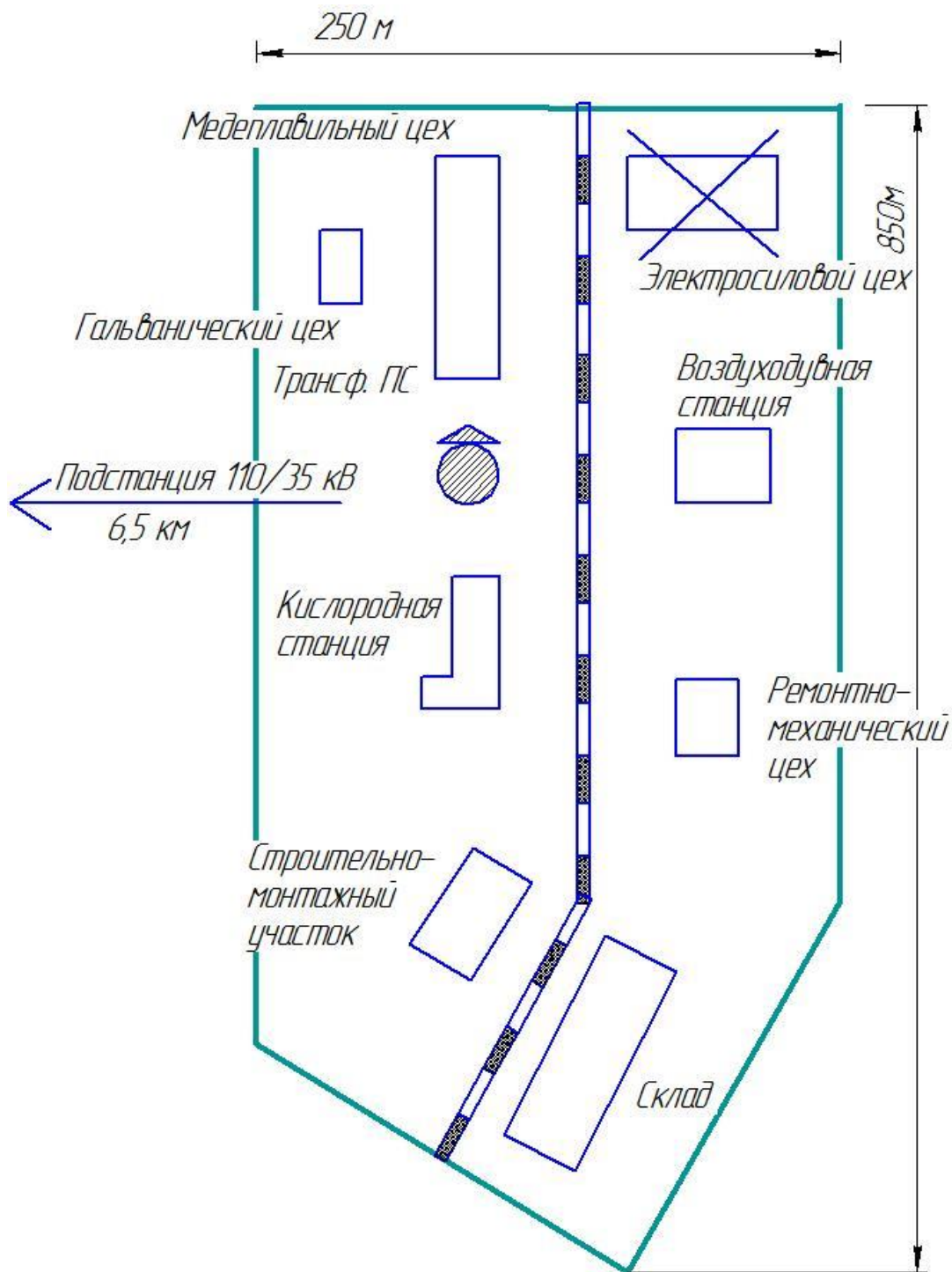


Рисунок 1 – Генеральный план комбината до реконструкции

Руководством комбината было принято решение названные печи заменить индукционными плавильными печами, способными переплавлять

медный лом. Кроме того, был сокращен электросиловой цех, оборудование которого было рассчитано на номинальное напряжение 6 кВ. Генеральный план предприятия после реконструкции представлен на рисунке 2.

На нем не указана трансформаторная подстанция, которую решено перенести в обновленный медеплавильный цех [17]. Обоснование данного решения будет приведено ниже. Модернизация коснулась, в основном, медеплавильного цеха. В нем остались печи Ванюкова, выполняющие основную работу по выплавке черновой меди и конверторы. Но там же сейчас выполняется переплавка медного лома в индукционной печи. Для данного цеха требуется спроектировать новую систему освещения.

Таблица 1 – Потребители электроэнергии с $U_{ном} = 6$ кВ.

№ п/п	Подразделение	$P_{уст},$ кВт	Число электро- приемников
1	Карусельные печи для плавки алюминиевого лома	800	3
2	Воздуходувная станция, компрессоры	630	4
3	Всего	4920	

Таблица 2 – Потребители электроэнергии с $U_{ном} = 400$ В.

№ п/п	Подразделение	$P_{уст},$ кВт	Число электро- приемников
1	Медеплавильный цех (печи Ванюкова)	100	4
2	Гальванический цех	160	4
3	Воздуходувная станция (400 В)	11 -32	10
4	Кислородная станция	210	8
5	Строительно-монтажный участок	1440	1 (суммарный)
6	Ремонтно-механический цех	580	1 (суммарный)
7	Склад	40	1 (суммарный)
	Всего	4990	

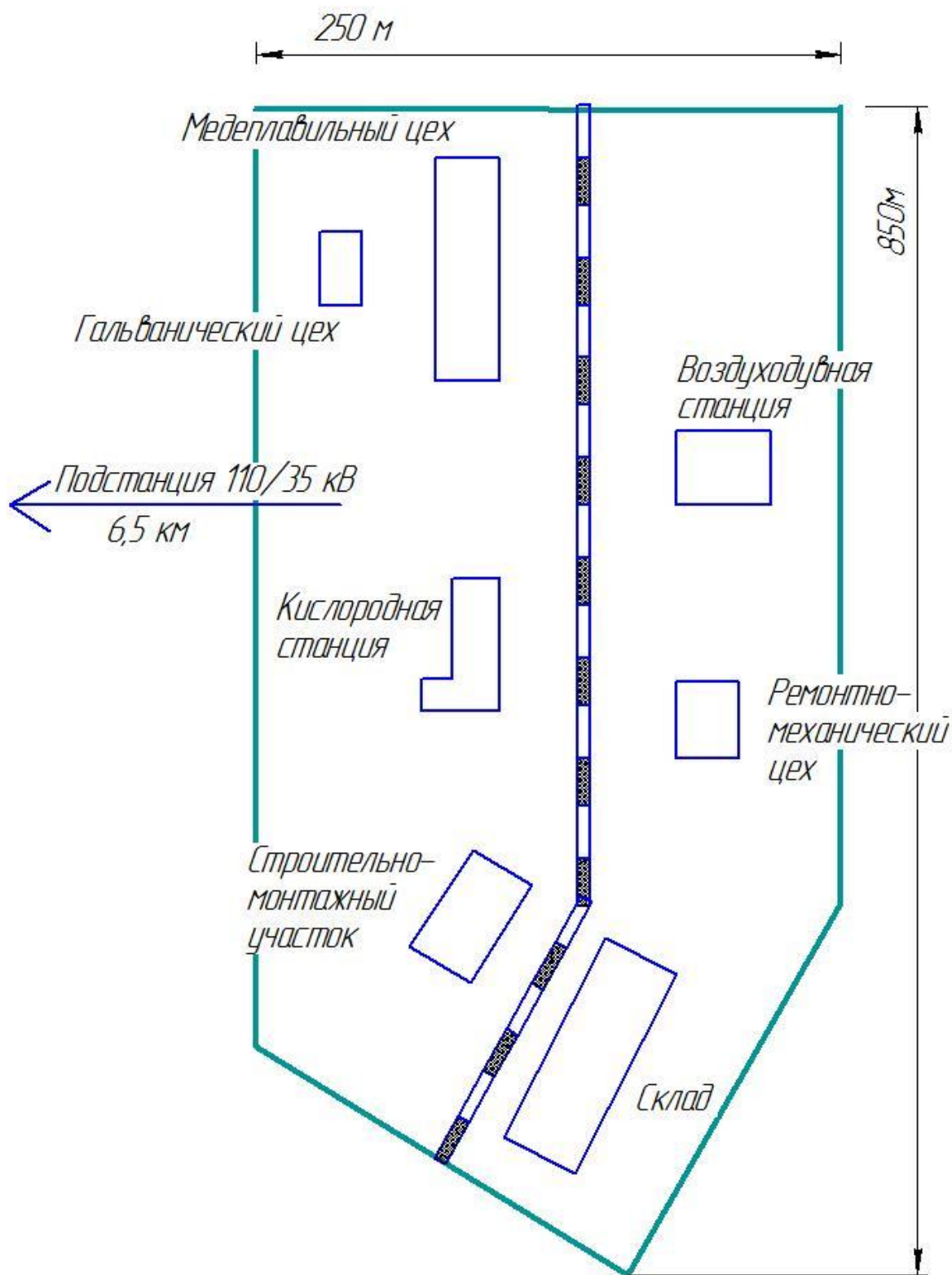


Рисунок 2 – Генеральный план комбината после реконструкции

Печи Ванюкова нагревают руду до требуемой температуры за счет экзотермической реакции окисления природного газа при продувке им руды

совместно с воздушно-кислородной смесью. Таким образом, основным источником тепловой энергии в названных печах является природный газ, а электроэнергия нужна, в основном, для работы воздушных и кислородных насосов. Плавление медного лома производится в индукционной печи. Это мощные потребители электроэнергии с низким коэффициентом мощности. Для повышения cosφ печь оборудована конденсаторными батареями.

К вспомогательным подразделениям относятся: воздуходувная станция, кислородная станция, ремонтно-механический цех и строительномонтажный участок.

Источником электроэнергии объекта является трансформаторная подстанция 110/35 кВ, расположенная в 6,5 км западнее [13]. Ее мощность короткого замыкания на стороне высокого напряжения 550 МВА, низкого – 1200 МВА. Непосредственно на объекте, кроме потребителей напряжения 400В, имеются синхронные электродвигатели с номинальным напряжением 6 кВ. Предприятие относится к 2 категории надежности. Местность в районе объекта лесистая, грунт характеризуется средней коррозионной активностью, отсутствием растягивающих усилий, но могут наблюдаться блуждающие токи.

1.2 Характеристика потребителей электроэнергии

Медеплавильный цех оборудован 4-мя печами Ванюкова, для которых в составе воздуходувной и кислородной станций имеются компрессоры.

Собственное электропотребление ограничивается работой грузоподъемных механизмов, освещением и вспомогательной аппаратурой. Его совокупная мощность не превосходит 100 кВт. Кроме них, потребителем электроэнергии является индукционная тиристорная печь УИ-5Т-2500М с номинальной мощностью 2,5 МВт для переплавки медного лома, в которой для повышения коэффициента мощности использованы конденсаторные батареи. Ее характеристики приведены в таблице 3. Суточный график электрических нагрузок медеплавильного цеха без учета

индукционной плавильной печи приведен на рисунке 3, а на рисунке 4 приведены аналогичные графики отдельно для печи УИ-5Т-2500М.

Таблица 3 – Характеристики индукционной печи

Характеристика	Значение
Масса загружаемого материала	5 т
Напряжение питания	400 В, 50 Гц
Номинальная мощность	2,5 МВт
Напряжение на индукторе	2,4 кВ
Длительность цикла плавки	1 час
Привод наклона	гидравлический
$\cos\varphi$ (с учетом конденсаторов)	0,7

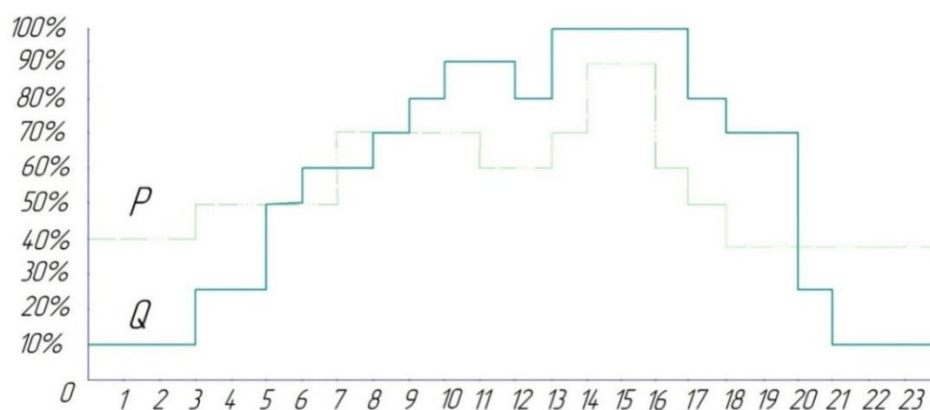


Рисунок 3 – Суточный график электрических нагрузок медеплавильного цеха (без учета индукционной печи)

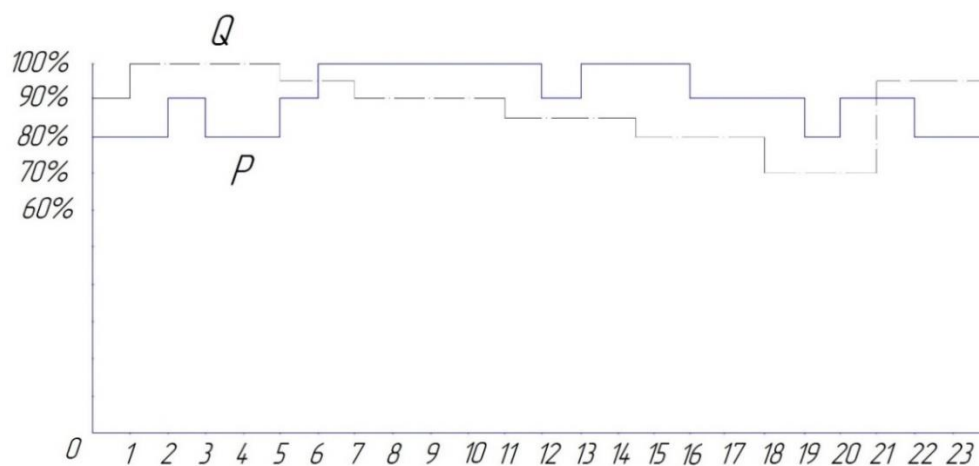


Рисунок 4 – Суточный график электрических нагрузок индукционной печи

Гальванический цех имеет в своем составе 4 идентичных гальванических установки. Каждая представляет собой облицованную специальной плиткой ванну размерами 4 x 1 м глубиной 1,2 м, в которой поочередно развешиваются аноды из черной меди и катоды из чистого металла. Основу электролита составляют серная кислота и медный купорос, разведенные в дистиллированной воде с добавлением спирта. Так как аноды и катоды имеют большую площадь и находятся близко, напряжение на них не превышает 0,5В, но ток достигает нескольких килоампер. Растворение анода длится до месяца, а катоды заменяют каждую неделю. На рафинирование 1 т меди расходуется около 300 кВт ч электроэнергии. Суточные графики электрических нагрузок гальванических установок представлены на рисунке 5.

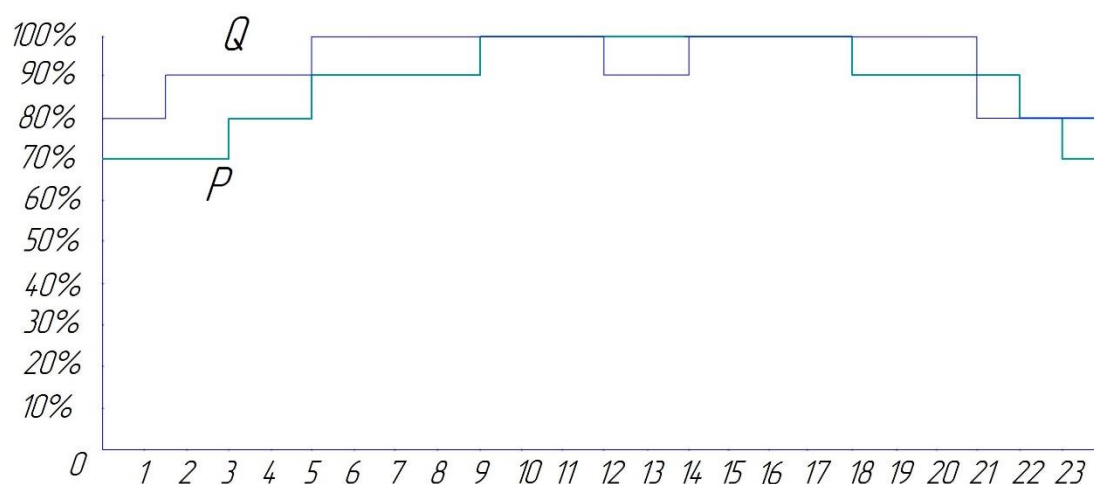


Рисунок 5 – Графики электрических нагрузок гальванических установок

Электрическая энергия расходуется на гальванический процесс, а также на подогрев электролита. Мощность источника питания одной установки составляет 160 кВт, его коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,7$, а коэффициент мощности $\text{Cos}\varphi = 0,8$. Описанное оборудование работает круглосуточно и практически непрерывно. Также в составе цеха имеется вентиляционная установка мощностью 11 кВт. Ее коэффициент

использования $K_{и} = 0,5$. Двигатель установки снабжен косинусными конденсаторными батареями, что позволило увеличить $\cos\varphi$ до 0,8.

Воздуходувная станция обеспечивает сжатым воздухом работу конверторов, в которых происходит выплавка черновой меди. Ее основу составляют 4 центробежные турбины, приводимые в действие синхронными электродвигателями мощностью 630 кВт напряжением 6 кВ. Также воздуходувная станция обеспечивает кондиционирование воздуха в помещениях комбината. Для этого используются 10 вентиляционных установок мощностью от 11 до 32 кВт.

На кислородной станции реализуется адсорбционная технология получения кислорода из воздуха. Для получения требуемого давления в ресиверах применяются 8 компрессоров с потребляемой номинальной мощностью электродвигателей 210 кВт.

В ходе прошедшей в 2019 году модернизации карусельные электропечи были заменены индукционными, в связи с чем был сокращен электросиловой цех, содержащий синхронные электродвигатели на напряжение 6 кВ. В результате из 6-киловольтного оборудования остались лишь 4 электродвигателя воздуходувной станции мощностью 630 кВт каждый.

Остальные подразделения комбината оборудованы типовыми электроприемниками – электроприводами станков, системами освещения, грузоподъемными механизмами и т.л.

Характеристика потребителей электроэнергии с $U_{ном} = 400$ В приведена в таблице 4. Для подразделений, оснащенных большим количеством разнообразного оборудования, приведена суммарная мощность, то есть на весь объект.

Из проведенного анализа следует, что система электроснабжения предприятия состоит из двух подсистем – высоковольтной (6 кВ) для питания синхронных двигателей компрессоров воздуходувной станции и низковольтной (400 В) для питания всего остального оборудования.

Другой важной особенностью системы электроснабжения является значительное разнообразие оборудования ремонтно-механического цеха. Поэтому для него сделаем отдельный расчет электрических нагрузок.

Таблица 4 – Потребители электроэнергии с $U_{ном} = 400$ В.

№ п/п	Подразделение	$P_{уст}$, кВт	Число электроприемников
1	Медеплавильный цех	2600	1 (суммарный)
2	Гальванический цех	160	4
3	Воздуходувная станция (400 В)	11 -32	10
4	Кислородная станция	210	8
5	Строительно-монтажный участок	1440	1 (суммарный)
6	Ремонтно-механический цех	580	1 (суммарный)
7	Склад	40	1 (суммарный)

2. Проектирование системы электроснабжения

2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия

Расчет выполним в соответствии с руководящими указаниями РТМ 36.18.32.4-92 [4]. Согласно данного документа, сначала нужно все электроприемники привести к эквивалентному длительному трехфазному режиму. Однако, медеплавильный комбинат включает ничтожно малое количество однофазных электроприемников, а его основные цеха – медеплавильный и гальванический работают без остановки, как это видно на графиках, приведенных на рисунках 3, 4 и 5.

В медеплавильном цехе основную нагрузку создает индукционная печь мощностью 2,5 МВт. Остальные потребители суммарной мощностью до 100 кВт могут не приниматься в расчет, так как эта мощность менее 5% от мощности печи. Таким образом, задача упрощается.

В характеристиках печи УИ-5Т-2500М приведена номинальная мощность, то есть $P_n = 2500$ кВт, а для проектирования ее электроснабжения нужно знать полную. Зная коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,7$, получим:

$$S_n = P_n / \cos\varphi = 3571 \text{ кВА}; \quad (1)$$

$$Q_n = P_n / \tan\varphi = 2451 \text{ квар}. \quad (2)$$

Из приведенного на рисунке 4 графика видно, что печь работает практически непрерывно, то есть за наиболее загруженную смену их коэффициент использования $K_{и} = 1$. Активная мощность за наиболее загруженную смену определяется выражением

$$P_c = K_{и} \cdot P_{n\Sigma} \quad (3)$$

и тоже будет равна 3571 кВт. Также $Q_n = 2451$ квар

Полную мощность определим как среднее геометрическое двух рассчитанных выше

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2} \quad (4)$$

Она составит 4331 кВА.

Аналогичные расчеты выполним для 4 кран-балок мощностью 16 кВт каждая. Эти грузоподъемные механизмы используются, в основном, только при загрузке и выгрузке материалов, их коэффициент использования $K_{и}$ составляет всего лишь 0,05.

Получим следующие результаты:

$$P_{н\Sigma} = n \cdot P_{н} = 4 \cdot 16 = 64 \text{ кВт};$$

$$P_c = K_{и} \cdot P_{н\Sigma} = 0,05 \cdot 64 = 3,2 \text{ кВт};$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg}\varphi = 3,2 \cdot 1,02 = 3,26 \text{ квар};$$

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2} = \sqrt{3,2^2 + 3,26^2} = 4,57 \text{ кВА}$$

Очевидно, что данная величина несоизмерима с мощностью печей и может быть исключена из расчета.

Так как коэффициент расчетной нагрузки K_p в данном случае равен 1, окончательные расчетные значения мощностей в сводной таблице совпадут с расчетными значениями за наиболее загруженную смену.

Расчетный ток определим по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} \quad (5)$$

Он составит 6251 А.

Для гальванического цеха режим работы также непрерывный, но разброс мощностей существенно меньше, поэтому в полном объеме принятые выше упрощения применимы быть не могут.

Для гальванических установок суммарная активная мощность составит

$$P_{н\Sigma} = n \cdot P_{н} = 4 \cdot 160 = 640 \text{ кВт},$$

А средние активная, реактивная и полная мощности за наиболее загруженную смену будут соответственно

$$P_c = K_{и} \cdot P_{н\Sigma} = 0,7 \cdot 640 = 448 \text{ кВт},$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg}\varphi = 448 \cdot 0,75 = 336 \text{ квар}.$$

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2} = \sqrt{448^2 + 336^2} = 560 \text{ кВА}$$

Обогреватели электролита потребляют только активную мощность, то есть имеют $\cos\varphi = 1$. При этом реактивная мощность равна нулю, а полная равна активной. Внесем эти значения в сводную таблицу. Система вентиляции имеет мощность 11 кВт, $K_{и}=0,5$ и $\cos\varphi = 0,8$. Выполнив аналогичные расчеты, получим $P_c=5,5$ кВт, $Q_c= 4,125$ квар, $S_c=6,875$.

Рассчитаем эффективное число приемников по формуле

$$n_{э} = \frac{(\sum P_{ни})^2}{\sum P_{ни}^2} = 4,73 \quad (6)$$

Данное значение округлим до ближайшего в меньшую сторону, то есть до 4. Рассчитаем средневзвешенные значения расчетных коэффициентов, определяемых из выражений:

$$K_{и.ср} = \frac{P_{c\Sigma}}{P_{н\Sigma}} = \frac{448+48+5,5}{640+48+11} = 0,72$$

$$\cos\varphi_{ср} = \frac{P_{c\Sigma}}{S_{c\Sigma}} = \frac{448+48+5,5}{560+48+6,875} = 0,82$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{ср} = \frac{Q_{c\Sigma}}{P_{c\Sigma}} = \frac{336+4,125}{640+48+11} = 0,48.$$

Для определения расчетных мощностей (три предпоследние графы таблицы) нужно знать расчетный коэффициент нагрузки K_p . Его находим по таблице [14], зная эффективное число электроприемников и коэффициент использования. Для гальванического цеха он составит 1,06.

Расчетную активную мощность, потребляемую гальваническим цехом, определим по формуле

$$P_p = K_p \cdot P_c \quad (7)$$

$$\text{Получим } P_p = 1,06 \cdot 501,5 = 532 \text{ кВт}$$

По формулам 2 и 4 рассчитаем реактивную и полную мощность, а затем ток:

$$Q_p = 532 \cdot 0,48 = 255 \text{ квар}$$

$$S_p = 590 \text{ кВА}$$

$$I_p = 852 \text{ A}$$

Далее аналогичным способом заполним таблицу для воздуходувной и кислородной станций.

Оборудование строительного участка и ремонтно-механического цеха отличается значительным разнообразием и поэтому их рассмотрим более подробно.

Как и ранее, исключим из рассмотрения потребители электроэнергии малой мощности, то есть мощность которых менее 5% от наиболее мощного потребителя. Тогда для строительного участка основными потребителями электроэнергии будут 4 бетоносмесителя JS1500 номинальной мощностью 44 кВт и два трансформатора для прогрева бетона мощностью 80 кВт и 100 кВт. Коэффициент использования бетоносмесителей составляет 0,12, а трансформаторов – 0,1. Расчеты проведем по прежней методике и внесем их результаты в таблицу 5.

Особое место в расчетах занимает ремонтно-механический цех, оборудование которого хотя и является маломощным, но отличается разнообразием. Применим к нему вышерассмотренную методику и заполним таблицу 6, сводную строку которой внесем в таблицу 5.

Полная потребляемая мощность оборудования с номинальным напряжением 400 В составит 7168 кВА. К ней необходимо добавить мощность, потребляемую 4 электродвигателями мощностью 630 кВт напряжением 6 кВ в составе воздуходувной станции. По данным предприятия, коэффициент спроса для данной группы двигателей составляет 0,65. Их коэффициенты мощности и реактивной мощности оставляют 0,75 и 0,8 соответственно. Тогда ее активная мощность составит

$$P_c = 4 \cdot K_c \cdot P_n = 4 \cdot 0,65 \cdot 630 = 1638 \text{ кВт},$$

а реактивная $Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1638 \cdot 0,8 = 1310$ квар.

Полная мощность составит 2098 кВА.

Тогда общая потребляемая мощность предприятия составит 9257 кВА.

Таблица 5 – Ожидаемые затраты мощности медеплавильного комбината (для потребителей $U_{\text{НОМ}} = 400 \text{ В}$.)

Наименование узла питания или группы электроприемников	Кол-во ЭП n	Установленная мощность		$K_{\text{И}}$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	Расчетные величины			$n_{\text{э}}$	Коэф. расч. нагр. $K_{\text{р}}$	Расчетная мощность			$I_{\text{р}}, \text{ А}$
		одного ЭП, $P_{\text{Н}}$ кВт	всех ЭП $P_{\text{НУ}}$, кВт			$P_{\text{с}}$, кВт	$Q_{\text{с}}$, квар	$S_{\text{с}}$, кВА			$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА	
Медеплавильный цех														
Индукционная печь УИ-5Т-2500М	1	2500	2500	1	0,7/1,02	3571	2451	4331						
Грузоподъемные механизмы (кран-балки)	4	16	64	0,05	0,7/1,02	3,2	3,3	4,6						
Итого по цеху	8	-	2564	1	0,7/1,02	3574	2454	4435	1	1	3571	2451	4331	6251
Гальванический цех														
Гальванические установки	4	160	640	0,7	0,8/0,75	448	336	560						
Обогреватели электролита	4	12	48	0,6	1/0	48	0	48						
Система вентиляции	1	11	11	0,5	0,8/0,75	5,5	4,125	6,875						
Итого по гальваническому цеху	9	-	699	0,72	0,82/0,48	501,5	340,125	606	4	1,06	532	255	590	852
Воздуходувная станция														
Вентиляционные установки 11 кВт	5	11	55	0,8	0,75/1,04	44	46	64						
Вентиляционные установки 32 кВт	5	32	160	0,9	0,82/0,7	131	92	160						
Итого по возд. станции			215	0,84	0,8/0,75	181	135	226	8	1	181	135	226	327

Продолжение таблицы 3

Наименование узла питания или группы электроприемников	n	Установленная мощность		K _и	cosφ/ tgφ	Расчетные величины			n _э	Коэф. расч. нагр. K _р	Расчетная мощность			I _р , А
		Одного ЭП, P _н , кВт	всех ЭП P _{нΣ} , кВт			P _с , кВт	Q _с , квар	S _с , кВА			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
Кислородная станция														
Компрессорная установка	8	210	1680	0,4	0,5/ 1,73	840	1453	1679	8	1,1	924	1600	1846	2664
Итого по кислородной станции	8	-									924	1600	1846	2664
Строительно-монтажный участок														
Бетоносмеситель	4	44	176	0,12	0,5/ 1,73	5,28	9,13	12,3						
Трансформатор для прогрева бетона КТПО-80	1	80	80	0,1	0,4/ 2,25	8	18	20						
Трансформатор для прогрева бетона КТПО-100А	1	100	100	0,1	0,4/ 2,25	10	23	25						
Итого по строительно-монтажному участку						23,28	45,5	51	5	2,84	66	138	153	221
Ремонтно-механический цех											18,5	12,4	22,3	33,74
Итого по всему медеплавильному комбинату											5293	4591	7168	

Таблица 6 - ожидаемые затраты мощности ремонтно-механического цеха

п/п	Наименование оборудования	Кол-во ЭП, N	Установленная мощность Р _н , кВт приведенная к ПВ=100%		K _υ	m	Cosφ/ tgφ	Расчетные величины			n ₃	K _p	Расчетная нагрузка			I _p , А
			Одно-го ЭП	Всех ЭП				P _c , кВт	Q _c , квар	S _c , кВА			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	14	15	16	17
1	Токарный станок	1	4	4	0,14	3	0,65/1,2	0,56	2,4	2,5	9	1,1				
2	Фрезерный станок	1	2,5	2,5	0,14	3	0,5/1,73	0,35	0,6	0,7	9	1,1				
3	Эрозионный станок	1	8	8	0,4	3	0,75/0,8 8	3,2	2,8	4,25	9	1,1				
4	Сверлильный станок	2	2,5	5	0,14	3	0,5/1,73	0,7	1,2	1,39	9	1,1				
5	Шлифовальный станок	1	0,75	0,75	0,14	3	0,5/1,73	0,1	0,17	0,2	9	1,1				
6	Отрезной станок	1	1,5	1,5	0,16	3	0,5/1,73	0,24	0,42	0,48	9	1,1				
7	Сварочный аппарат-полуавтомат	3	3	9	0,14	3	0,65/1,2	1,26	1,5	2	9	1,1				
8	Токарный станок	1	3	3	0,14	3	0,65/1,2	0,42	0,5	0,65	9	1,1				
9	Сверлильный станок	1	1,5	1,5	0,14	3	0,5/1,73	0,2	0,36	0,4	9	1,1				
10	Деревообрабатывающий станок	1	3x1,5	1,5	0,16	3	0,7/1	0,2	0,2	0,3	9	1,1				
11	Сварочный аппарат дуговой сварки	1	3	3	0,4	3	0,75/0,8	1,2	0,96	1,5	9	1,1				
12	Шлифовальный станок	1	0,75	0,75	0,14	3	0,5/1,73	0,1	0,17	0,2	9	1,1				
	Итого по цеху												18,5	12,4	22,3	33,74

2.2 Выбор схемы электроснабжения и ее элементов

2.2.1 Анализ существующей системы электроснабжения

Существующая система электроснабжения иллюстрируется рисунком 6. При номинальном напряжении в линии 35 кВ требуемой, согласно расчета электрических нагрузок мощности 9257 кВА соответствует ток 153 А. Сумма номинальных мощностей оборудования комбината до реконструкции составляла 9910 кВА. Учитывая, в грубом приближении, соизмеримость отклонения от данного значения за счет коэффициентов использования в сторону уменьшения, а за счет коэффициентов мощности в сторону увеличения, можно сделать предварительный вывод о незначительном изменении суммарной электрической нагрузки всего комбината.

С чисто технической точки зрения, рассчитывать новую воздушную линию 35 кВ от питающей подстанции нет необходимости. Однако, действующая ЛЭП на основе проводов АС-150/24 с деревянными опорами построена в 1980 году. В настоящее время она находится на исходе своего ресурса, особенно это относится к деревянным опорам. Поэтому ее тоже нужно заменить на новую. Также необходимо иметь в виду, что распределение нагрузок по территории объекта существенно изменилось.

Существующая система электроснабжения базируется на закрытой трансформаторной подстанции, размещенной в отдельно стоящем здании и преобразующей напряжение воздушной линии 35 кВ в 6 кВ и 400 В. Руководством комбината принято решение о ее замене на встроенную трансформаторную подстанцию в здании медеплавильного комбината

Шины распределительного устройства 35 кВ соединены с воздушной линией выключателями QF1 и QF2 типа ВР35НС, характеристики которых приведены в таблице 7.

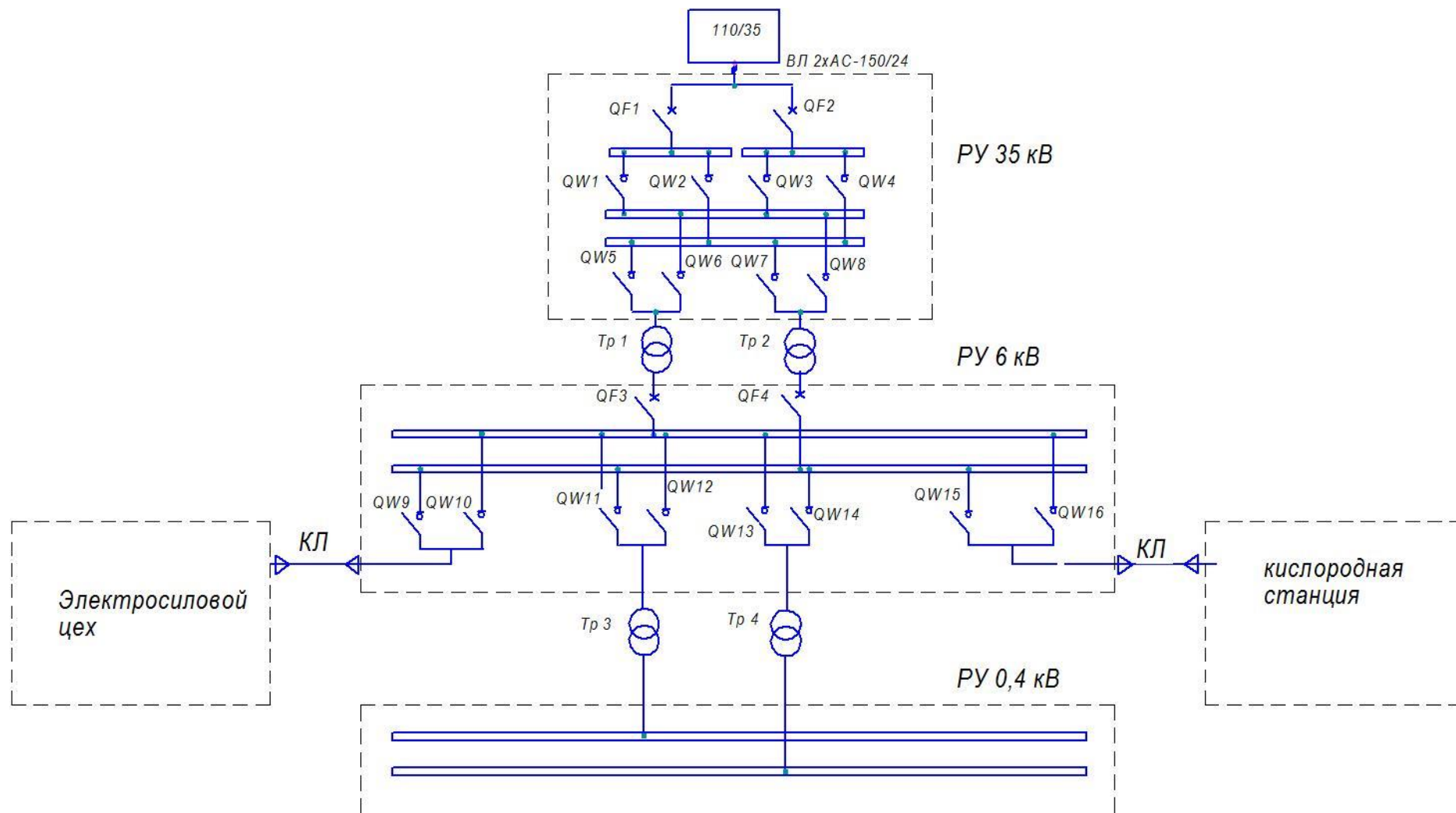


Рисунок 6 - Система электроснабжения комбината до реконструкции

Таблица 7 - Характеристики выключателя ВР35НС

Параметры	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Максимальное рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальный ток, А	1600
Номинальный ток отключения, кА	20
Полное время отключения, мс, не более	65
Собственное время отключения, мс, не более	100
Механический ресурс, циклов ВО	35000
Коммутационный ресурс при номинальных токах отключения	55

Из таблицы видно, что данные выключатели выбраны с неоправданно высоким запасом по току, а поскольку они физически и морально устарели, их целесообразно заменить на более оптимальные, которые будут выбраны далее.

Для подключения двух воздушных линий к двум шинам используются 4 выключателя нагрузки типа NAL, которые рассчитаны на рабочий ток 400 А, что тоже имеет более, чем двукратную избыточность.

К данным шинам с помощью выключателей нагрузки QW5-QW8 подключаются масляные трансформаторы ТД-10000/35/6,3, характеристики которого приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Характеристики трансформатора ТД-10000/35/6,3

Параметр	Значение
Мощность, кВА	10000
Напряжение первичной обмотки, кВ	35
Напряжение вторичной обмотки, кВ	6,3
Потери холостого хода, кВт	8,5
Потери короткого замыкания, кВт	65
Напряжение короткого замыкания, %	7,5
Материал обмоток	Алюминий

Выходы трансформаторов с помощью выключателей QF3 и QF4 подключаются к шинам 6 кВ, от которых это напряжение направляется к двум потребителям 6 кВ – электросиловому цеху и кислородной станции, а также к двум понижающим трансформаторам 6/0,4 кВ для обеспечения комбината напряжением 400 В.

2.2.2 Выбор элементов новой системы электроснабжения

Для двухтрансформаторных систем мощность одного трансформатора может быть взята равной 70% от общей нагрузки [8], то есть для расчетной полной мощности 9257 кВА достаточно 6480 кВА. Из ряда стандартных мощностей весьма близкой оказывается величина 6300 кВА, но, учитывая тенденцию роста энергопотребления в последние десятилетия, целесообразно выбрать номинальную мощность трансформатора следующего уровня 10000 кВА. Из возможных вариантов выбираем масляный трансформатор ТМН-10000/35/6.

Главное и существенное различие системы электроснабжения комбината до и после реконструкции состоит в том, что появился новый потребитель с номинальным напряжением 400 В и мощностью 2,5 МВт – индукционная плавильная печь. Номинальный ток в ее питающей линии электропередачи составляет 6251 А, что практически нереализуемо при питании по кабелю. Также сократился один потребитель с номинальным напряжением 6 кВ.

Для выбора оптимального распределения на территории комбината элементов системы электроснабжения построим картограмму нагрузок [11]. При этом учтем особенности питания наиболее мощных потребителей. Трансформатор 6/0,4 кВ для питания индукционной печи должен быть расположен в непосредственной близости от печи, так как кабельные линии для тока 4,25 кА должны быть как можно меньше. Желательно вместо кабеля применить шинопровод [10]. Так как потребители 2 категории должны иметь 2 независимых линии, второй трансформатор 6/0,4 кВ должен быть расположен

рядом. Расположенная рядом воздуходушная станция питается напряжением 6 кВ, однако в ее составе есть и потребители 0,4 кВ. для их питания можно использовать трансформаторы медеплавильного цеха. Для этого нужно проложить кабельную линию.

Другая пара трансформаторов должна располагаться в кислородной станции. Мощности ее трансформаторов должно хватать на обеспечение внешнего потребителя – строительного-монтажного участка.

Так как потребитель напряжения 6 кВ всего один, картограмму нагрузок построим только для потребителей напряжения 400 В. Расчетные данные для этого представлены в таблице 9, а картограмма приведена на рисунке 7.

Таблица 9 - Расчетные радиусы для картограммы нагрузок

№ п/п	Подразделение	Мощность		Радиус	
		кВА	%	отн. ед	%
1	Медеплавильный цех	4331	100	5,6	100
2	Гальванический цех	590	14	2,1	38
3	Воздуходувная станция	226	5	1,3	23
4	Кислородная станция	1846	43	3,7	66
5	Строительно-монтажный участок	153	4	1,1	20
6	Ремонтно-механический цех	22,3	0,5	0,4	7

По решению руководства предприятия трансформаторная подстанция переносится в южную часть здания медеплавильного цеха. В ее состав должны войти 2 трансформатора 35/6 кВ, 2 трансформатора 6/0,4 кВ и распределительные устройства 35кВ и 6 кВ.

Полная потребляемая мощность для медеплавильного цеха составляет 4331 кВА. Для двухтрансформаторных систем электроснабжения справедливо соотношение номинальной мощности трансформатора $P_{тр}$ и мощности нагрузки всей системы $P_{потр}$

$$P_{тр} > 0,7 \cdot P_{потр}. \quad (8)$$

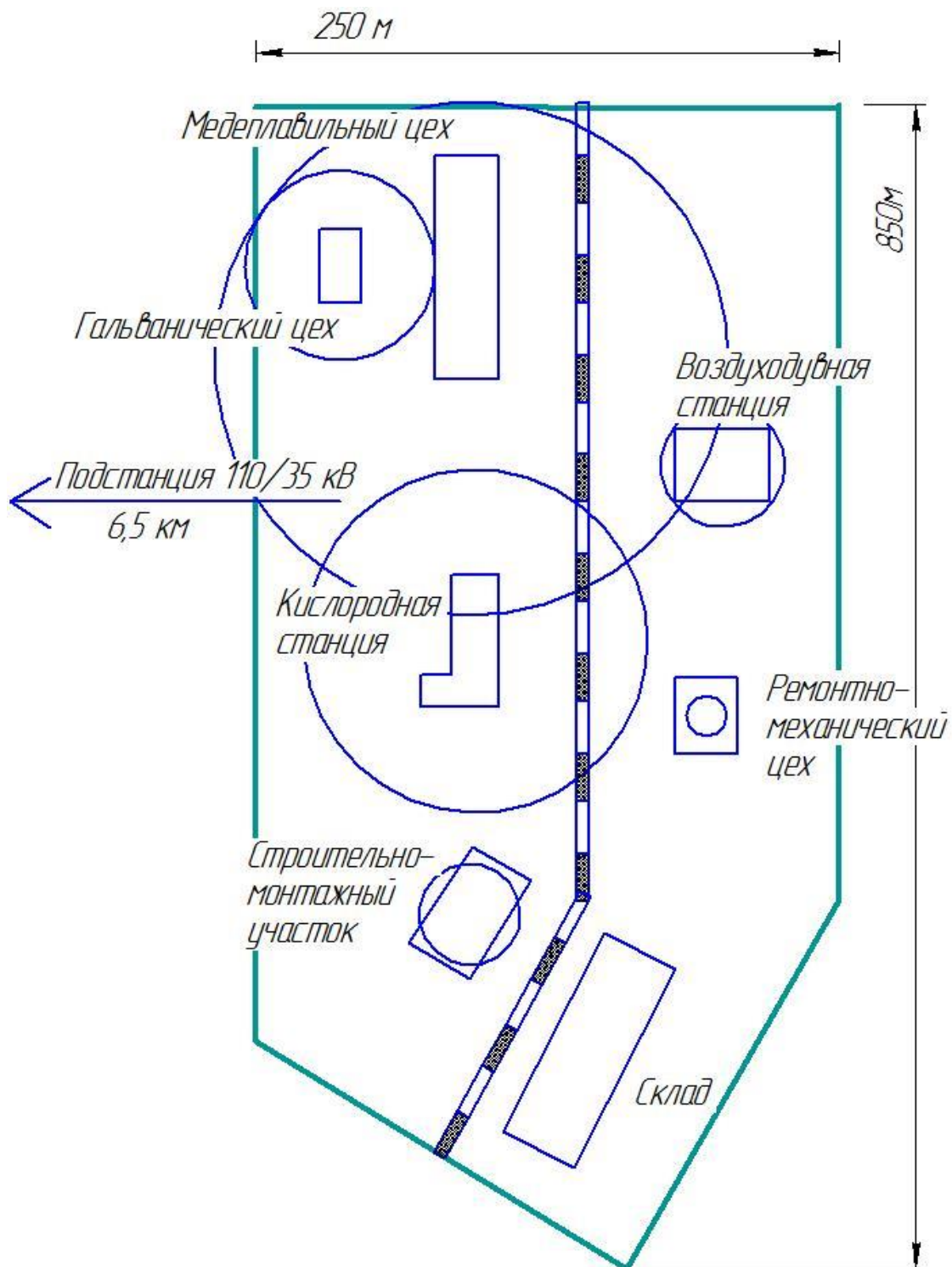


Рисунок 7 - Картограмма нагрузок

Для медеплавильного цеха минимальная мощность трансформатора составит 3032 кВА. Учитывая, что кроме основных потребителей напряжения 0,4 кВ еще есть вспомогательные (освещение и т.п.) выберем номинальную

мощность трансформаторов 4000 кВА. Из возможных вариантов выбираем сухие трансформаторы ТСЗ-4000/6/0,4 [9].

Вторым объектом по потребляемой мощности является кислородная станция, расположенная на расстоянии 120 м от медеплавильного цеха. Ее суммарный ток равен 2884 А, поэтому для питания 8 компрессорных установок мощностью 210 кВт неизбежно применение 8 кабелей типа АВБШв 4х240. Однако стоимость только кабелей (примерно 1,5 км с учетом ввода-вывода) составит $4342,13 \times 1500 = 6,5$ млн. руб.

Рассмотрим альтернативный вариант - трансформаторы 6/0,4 кВ размещаются на кислородной станции, а питание к ним подается по кабелю от трансформатора 35/6 кВ длиной 150 м. Согласно ПУЭ [18] и РД 34.20.185-94 [5] для напряжения 6 кВ целесообразно не менее 70 мм².

Подходит бронированный кабель ААШв 3х70 по цене 419 руб за метр. Тогда весь кабель длиной 150 м будет стоить 62850 руб. Сухой трансформатор ТСЗ-1600 стоит 1,4 млн руб. Два трансформатора с учетом кабеля обойдутся в 2,86 млн. руб. , то есть этот вариант более, чем в 2 раза дешевле рассмотренного ранее. На основании данного расчета принимаем второй вариант.

Еще одним мощным потребителем электроэнергии является гальванический цех. Потребляемая им полная мощность составляет 590 кВА, а ток 852 А. Рассмотрим возможность питания его оборудования от трансформаторов на территории медеплавильного завода.

Нагрузочная способность кабеля ААШв 3х240 составляет всего 314 А, аналоги тоже имеют допустимый ток около 1,3 А/мм². Поиск кабеля сечением жил около 700 мм² не имеет смысла. Таким образом, трансформатор 6/0,4 кВ целесообразно расположить в гальваническом цехе. Поскольку гальванический процесс без особого вреда может прерываться, достаточно одного трансформатора, мощность которого не менее 590 кВА. Подходит сухой трансформатор ТСЗ-630 6/04 стоимостью 465000 руб. Так как для напряжения 6 кВ применять кабели сечением менее 70 мм² нецелесообразно, возьмем тот

же кабель ААШв 3х70 по цене 419 руб за метр. Альтернативы данному варианту, в отличие от предыдущего, нет.

Таким образом, все трансформаторы 6/0,4 кВ, кроме двух в кислородной станции и одного в гальваническом цехе, будут размещаться в здании медеплавильного цеха.

Для дальнейшей работы необходимо принять решение по структуре системы энергоснабжения и ее основным компонентам [23], то есть разместить трансформаторы и определить длины кабельных линий.

Вариант новой схемы системы электроснабжения комбината представлен на рисунке 8.

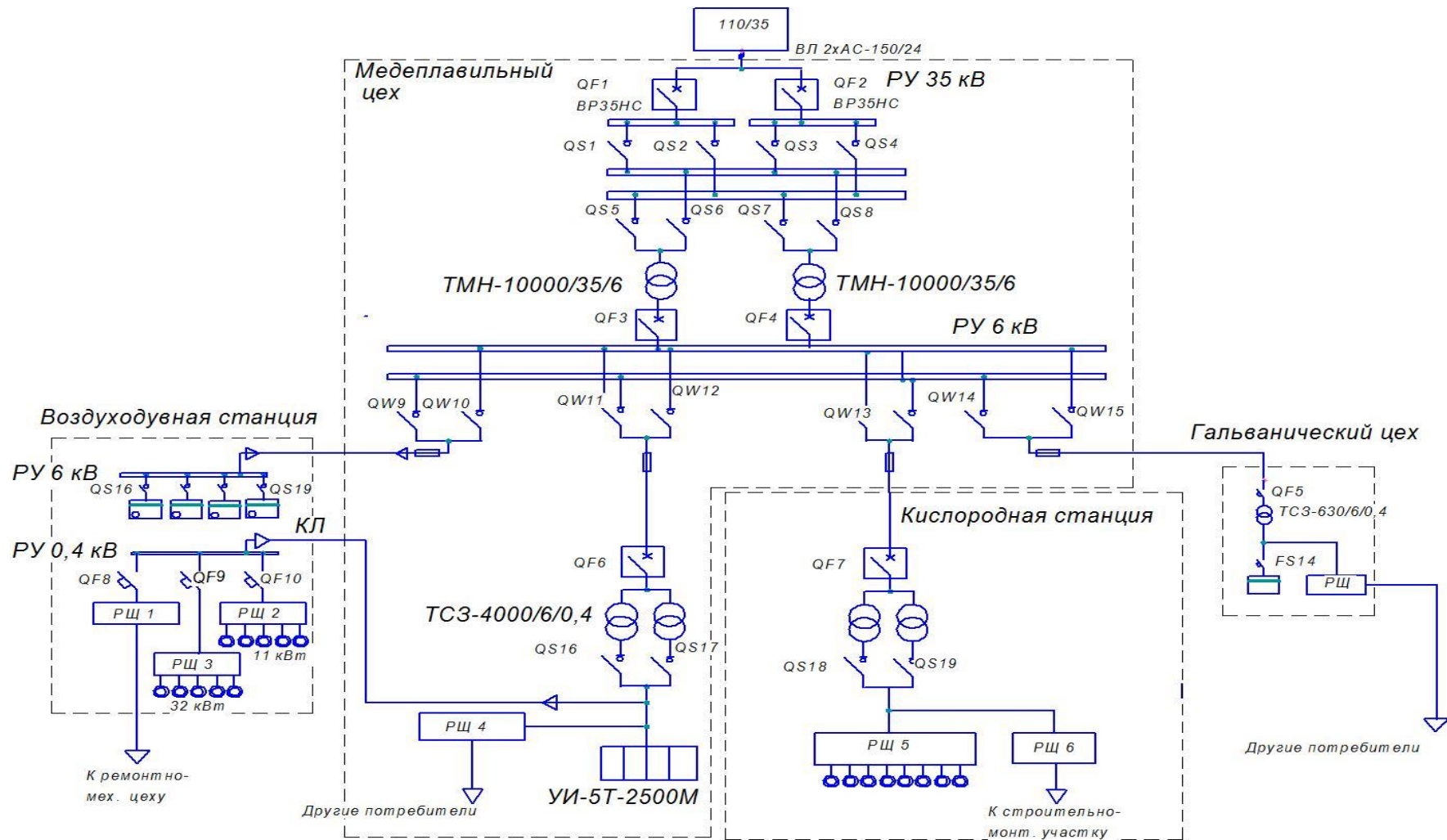


Рисунок 8 - Схема электроснабжения комбината после реконструкции

3 Выбор коммутационных аппаратов

3.1 Расчет токов короткого замыкания

Для выбора коммутационных аппаратов и кабелей необходимо знать рабочие токи и токи короткого замыкания [5]. При этом нужно учесть, что трансформатор ТСЗ-4000 соединен с трансформатором ТМН-10000 шиной, сопротивление которой несоизмеримо меньше сопротивления трансформатора и может не включаться в расчет; другие трансформаторы подключены кабельными линиями, которые имеют существенное сопротивление; воздухоудувная станция имеет штатные коммутационные аппараты и внесение изменений в ее схему запрещено. Также не требуется ревизия системы электроснабжения напряжением 400 В, поскольку она не нуждается в изменении. Таким образом, нужно рассчитать токи короткого замыкания в 8 точках:

1. К1 – на входе воздушной линии от подстанции 110/35.
2. К2 – за трансформатором 35/10 кВ.
3. К3 – за трансформатором ТСЗ-4000/6/0,4.
4. К4 - перед трансформатором ТСЗ-1600
5. К5 – за трансформатором ТСЗ-1600.
6. К6 – перед трансформатором ТСЗ-630;
7. К7 - за трансформатором ТСЗ-630.
8. К8- между кабельной линией и оборудованием 6 кВ воздухоудувной станции.

Первоначально расчет предполагается сделать для трехфазных замыканий и предварительно выбрать коммутационные аппараты. После этого будет принято решение о необходимости дальнейших расчетов.

Схемы для расчетов токов КЗ представлены на рисунке 9, а необходимые характеристики трансформаторов и кабеля ААШв-3х70 – в таблицах 10 и 11.

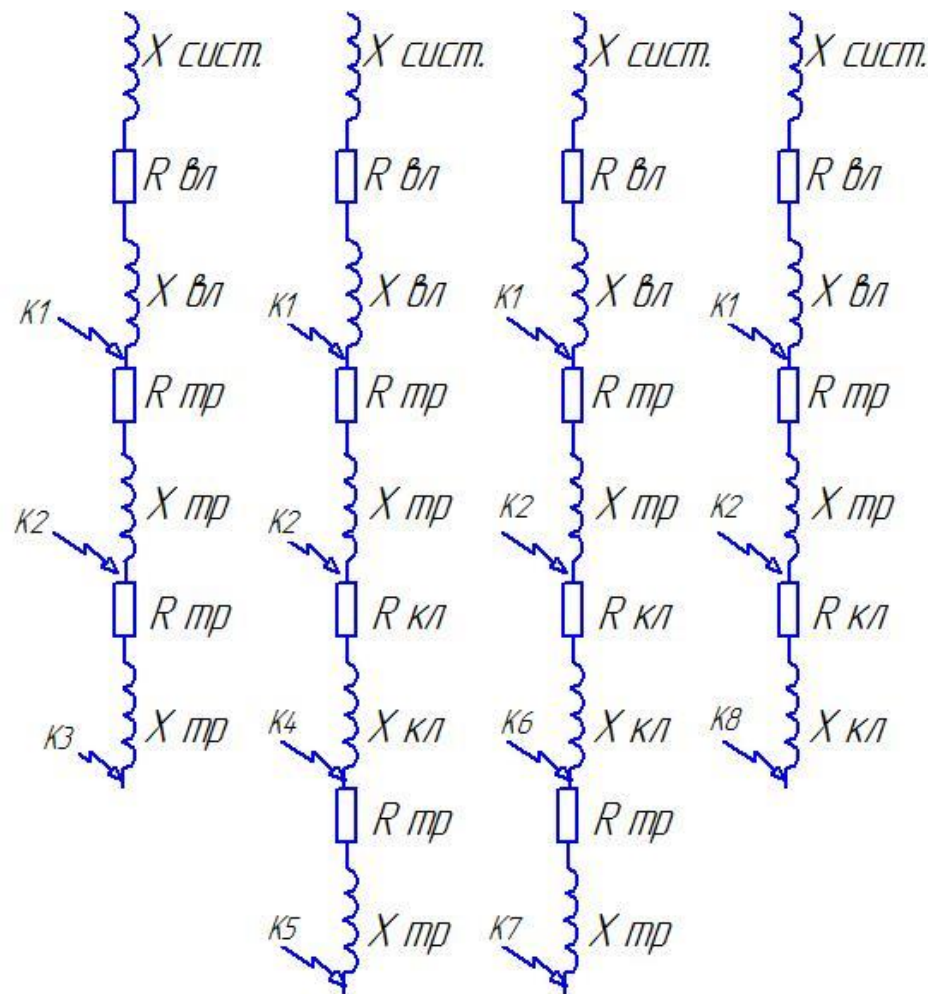
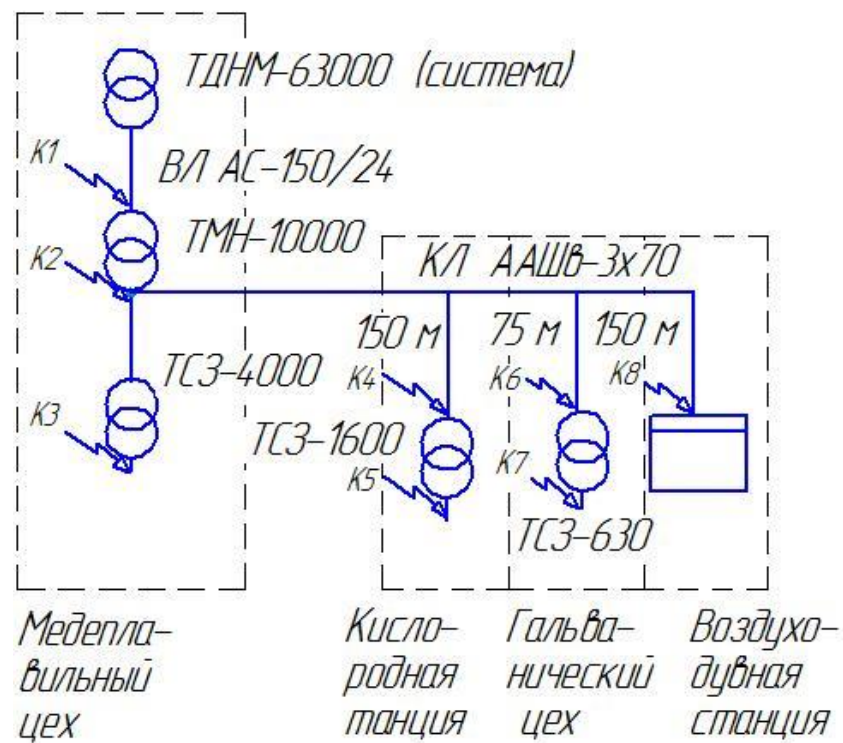


Рисунок 9 - Схемы для расчета токов короткого замыкания

Таблица 10 - Характеристики трансформаторов

Трансформатор	$U_{вн ном}$	$U_{нн ном}$	P_{xx}	$P_{кз}$	$U_{кз}$
ТДНМ-63000/100000/110-У1	115 кВ	38,5 кВ	50 кВт	245 кВт	7,5%
ТМН-10000/35/6	35 кВ	6 кВ	9 кВт	60 кВт	8%
ТСЗ-4000/6/0,4	6 кВ	400 В	6,3 кВт	33 кВт	7%
ТСЗ-1600/6/0,4	6 кВ	400 В	3,3 кВт	18 кВт	6,3%
ТСЗ-530/6/0,4	6 кВ	400 В	1,8 кВт	7,3 кВт	5,4%

Таблица 11 - Характеристики кабеля ААШв-3х70

Проводник	$U_{макс.}$ кВ	Удельное сопротивление, Ом		
		$R_{уд}$ Ом, км	$X_{уд}$ Ом, км	$Z_{уд}$ Ом, км
Провод АС-150/24		0,21	0,319	0,382
Кабель ААШв – 3х70	10	0,443	0,086	0,451

При расчетах токов КЗ в различных точках необходимо учесть, что при наличии двух и более трансформаторов происходит трансформация и сопротивлений этих трансформаторов. Принцип приведения сопротивлений к общему напряжению поясняется рисунком 10.

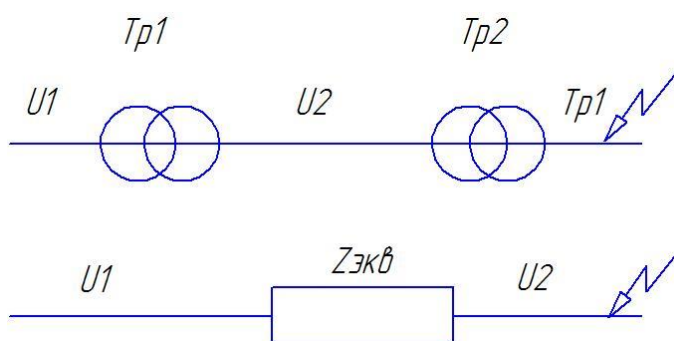


Рисунок 10 - Приведение сопротивлений к общему значению

Согласно [22] для напряжения U_1 эквивалентное сопротивление второго трансформатора увеличивается и выражается формулой

$$Z_{\text{экв}} = Z_{\text{тр2}} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \quad (9)$$

Расчет тока КЗ в точке №1

Источником электропитания для плавильного комбината, то есть его питающей системой является расположенная в 6,5 км западнее трансформаторная подстанция 110/35 кВ. Основу подстанции составляет трансформатор ТДНМ-63000/100000/110-У1.

Расчеты будем производить в именованных единицах [20]. Сопротивление трансформатора рассчитаем по формуле

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}} \quad (10)$$

Подставив значения из таблицы, получим 1,76 Ом.

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{7,5 \cdot 35^2}{100 \cdot 63} = 1,76 \text{ Ом}$$

Далее следует двухцепная воздушная линия 2хАС-150/24, удельные погонные сопротивления которой возьмем из справочной литературы и умножим на длину линии 6,5 км:

$$R_{\text{вл}} = 0,21 \text{ Ом/км} \cdot 6,5 \text{ км} = 1,365 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{вл}} = 0,319 \text{ Ом/км} \cdot 6,5 = 2,0735 \text{ Ом}.$$

Так как активное и реактивное сопротивления отличаются незначительно, полное сопротивление воздушной линии определим как их среднегеометрическое значение

$$Z_{\text{вл}} = \sqrt{R^2 + X^2} = 2,48 \text{ Ом}.$$

Для расчета токов КЗ воспользуемся известной формулой

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_{\text{кз}}} \quad (11)$$

Для точки №1 напряжение составит 35 кВ, а результирующее сопротивление будет включать индуктивное сопротивление системы и полное сопротивление воздушной линии. Тогда

$$I_{\text{кз1}} = \frac{35 \text{ кВ}}{1,76 + 2,48 \text{ Ом}} = 8,25 \text{ кА}.$$

Расчет ударного тока КЗ в электроустановках выполняется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot i_k^3 \cdot K_{уд} \quad (12)$$

где: $K_{уд}$ – ударный коэффициент [2? 3]. Для установок выше 1000 В примем $K_{уд} = 1,8$.

После выполнения вычислений получим

$$i_{удк1} = \sqrt{2} \cdot 8,25 \cdot 1,8 = 20,95 \text{ кА},$$

В случае повреждения одной из цепей воздушной линии вся потребляемая предприятием мощность 9257 кВА будет проходить через точку КЗ №1. При этом максимальный рабочий ток в данной точке составит

$$I_{раб1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{9257 \text{ кВА}}{\sqrt{3} \cdot 35 \text{ кВ}} = 153 \text{ А}.$$

Расчет тока КЗ в точке №2

Для силового трансформатора ТМН-10000/35/6, в отличие от воздушной линии, сопротивление имеет практически реактивный характер и может быть вычислено по формуле [24]

$$X_{тр} = \frac{U_{кз} \cdot U^2}{100 \cdot S_H} \quad (13)$$

Подставив численные значения, получим $X_{тр} = 1,225 \text{ Ом}$.

Для напряжения 35 кВ сопротивление составит

$$Z_{экв} = Z_{тр2} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = 1,225 \cdot \left(\frac{6}{35}\right)^2 = 0,036 \text{ Ом}.$$

Ток КЗ будет определяться суммарным сопротивлением воздушной линии и двух трансформаторов

$$I_{кз} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = 4,73 \text{ кА},$$

где Z_{Σ} – суммарное сопротивление.

Для выбора выключателя, кроме номинального тока отключения, нужно знать рабочий ток. Его определим по формуле

$$I_{раб1600} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1600 \text{ кВА}}{\sqrt{3} \cdot 6 \text{ кВ}} = 154 \text{ А}.$$

Расчет тока КЗ в точке №3

Далее следует часть системы электроснабжения, которая частично изменилась, а частично осталась неизменной. В частности, в составе воздуходувной станции имеются 4 синхронных двигателя, в комплект которых входят собственные блоки управления со штатными устройствами коммутации. Они получают питание через шину, сопротивление которой несоизмеримо меньше рассмотренных выше.

Сопротивление трансформатора ТСЗ-4000/6/0,4, питающего индукционную плавильную печь мощностью 2,5 МВт,

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U^2}{100 \cdot S_{\text{н}}} = \frac{8 \cdot 6^2}{100 \cdot 4} = 0,72 \text{ Ом},$$

что значительно меньше сопротивления воздушной линии и трансформатора 35/6 кВ. Поэтому в дальнейшем влияние воздушной линии и основного трансформатора 35/6 кВ учитывать не будем.

Для точки КЗ №3 сопротивление КЗ будет определяться, в основном, только характеристиками трансформатора ТСЗ-4000/6/0,4.

$$I_{\text{кз}} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0,72} = 4,8 \text{ кА},$$

Расчет тока КЗ в точке №4

Ток КЗ в данной точке, то есть в конце кабельной линии длиной 150м будет определяться как ток КЗ трансформатора 35/6 кВ, в котором, кроме собственного сопротивления нужно учесть сопротивление кабельной линии $Z=0,451$ Ом. Тогда

$$I_{\text{кз}} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot (1,225 + 0,451)} = 2,07 \text{ кА},$$

Расчет тока КЗ в точке №5

Ток КЗ в точке №5 – это ток КЗ трансформатора ТСЗ-1600. Его сопротивление равно

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U^2}{100 \cdot S_{\text{н}}} = \frac{6,3 \cdot 6^2}{100 \cdot 1,6} = 1,42 \text{ Ом},$$

а ток КЗ:

$$I_{кз} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 1,42} = 2,44 \text{ кА},$$

Расчет тока КЗ в точке №6

Расчет для данной точки аналогичен расчету для точки №4, но длина кабельной линии будет 75 м.

$$I_{кз} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot (1,225 + 0,225)} = 2,4 \text{ кА},$$

Расчет тока КЗ в точке №7

Ток КЗ в точке №7 – это ток КЗ трансформатора ТСЗ-630. Его сопротивление равно

$$X_{тр} = \frac{U_{кз} \cdot U^2}{100 \cdot S_n} = \frac{6,3 \cdot 6^2}{100 \cdot 0,63} = 3,6 \text{ Ом},$$

а ток КЗ:

$$I_{кз} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 3,6} = 0,963 \text{ кА},$$

Расчет тока КЗ в точке №8

Так как исходные данные для расчета соответствуют исходным данным для точки №4, то и ток КЗ будет также равен 2,44 кА.

Апериодическая составляющая тока трехфазного КЗ определяется по формуле [2]

$$i_{а0} = \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)}, \text{ кА}, \quad (14)$$

а ударный ток будет отличаться наличием в формуле ударного коэффициента $K_{уд}$, который находится по таблице [15].

Рабочие токи находятся с учетом расчетных мощностей подразделений объекта, найденных при анализе электрических нагрузок.

3.2 Выбор выключателей и разъединителей

3.2.1 Выбор выключателей

Как было выяснено при расчете токов короткого замыкания на входе воздушной линии 35 кВ, для выбора выключателей FS1 и FS2 необходимо

учитывать рабочий ток 153 А и предельный ток отключения 20,95 кА. Возможные варианты подходящих выключателей приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Характеристики выключателей на 35 кВ

Тип	Марка	$U_{ном}$ кВ	$I_{ном}$ А	$I_{откл}$ кА
Масляные	С-35	35	630	10
	ВМ-35	35	600	10
	МКП-35	35	600	10
Элегазовые	ВГТ-3511	35	630-1000	50
	ВГБ-УЭТМ-35	35	630-1000	12,5
	ВГБЭ-35	35	630-1000	12,5
	ВБ-35	35	630-1000	12,5
Вакуумные	РиМ ВВ	35	630-1000	25 (31,5)
	ВВН-35-25/1000	35	1000-1600	25 (31,5)
	ВВСТ-35	35	1000-1600	25 (31,5)
	<u>ВВН-СЭЩ-П-35</u>	<u>35</u>	<u>1000-1600</u>	<u>25 (31,5)</u>

$U_{ном}$ кВ	$I_{ном}$ А	$I_{ном.откл}$ А	Ресурс циклов	Раб. темп. °С
35	1000	31500	25000	-60...+55

Таблица 13 - Характеристики вакуумного выключателя ВВН-СЭЩ 35 кВ

Таким характеристикам удовлетворяет вакуумный выключатель ВВН-СЭЩ 35 кВ, характеристики которого приведены в таблице 13.

Для установки в цепях напряжением 6 кВ предварительно выбраны выключатели, указанные в таблице 14.

Окончательный выбор (таблица 15) был сделан на основе анализа рабочих токов и токов короткого замыкания. Разработчикам новой схемы электроснабжения удалось убедить руководство комбината в необходимости установки двух вакуумных выключателей ВВСК-Р-10 со встроенным электромагнитным приводом по цене 105700 руб. за

комплект, хотя можно было использовать более дешевые маломасляные выключатели.

Таблица 14 - Характеристики выключателей на 6 кВ

Тип	Марка	U _{ном} кВ	I _{ном} А	I _{откл} кА
Масляные	ВММ-10 А-400-10У2	10	400	10
	ВММ- 10-630- 10У2	10	630	10
	ВММ- 10-320- 10ТЗ	11	320	10
	ВММ-10-20/630У2	10	400	20
	ВМПЭ-10-630-20У3	10	630	20
Элегазовые	LF-6	6	630	12,5
	LF-10	10	630	12,5
Вакуумные	ВРС-6	6	1250	40
	ВР6В	6	2000	40
	ВР6	6	1600	40
	<u>ВРСК-Р-10</u>	<u>10</u>	<u>630</u>	<u>20</u>

Таблица 15 – Окончательный выбор выключателей

Обозначение на схеме	Рабочий ток, А	Период. составляющая тока КЗ, кА	Апериод. составляющая тока КЗ, кА	Ударный ток КЗ кА	Выбранный аппарат
QF1, QF2	154	8,25	11,67	16,34	ВВН-СЭЩ 35КВ
QF3, QF4	154	4,73	6,69	8,03	ВБСК-Р-10
QF5	57	0,963	1,36	1,5	ВБСК-Р-10
QF6	242	4,8	6,77	7,45	ВБСК-Р-10
QF7	103	2,44	3,44	2,68	ВБСК-Р-10

Так как рабочие токи и токи короткого замыкания значительно меньше предельных значений вышеописанных выключателей, принято решение во всех цепях напряжением 6 кВ установить вакуумные выключатели ВБСК-Р-10, характеристики которых приведены в таблице 16.

Таблица 16 - Характеристики выключателя ВБСК-Р-10.

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный рабочий ток, А	630
Номинальный ток отключения, кА	20
Время включения, мс	0,2
Время выключения, мс	0,05
Ресурс, циклов	50000
Срок службы, лет	30

Из таблицы видно, что по рабочему току и току отключения данные выключатели многократно превышают требуемые значения 154А и 4,73 кА. Этот факт избавляет от необходимости рассчитывать подпитку токов КЗ от синхронных и асинхронных двигателей [19].

3.2 Выбор разъединителей

Учитывая сравнительно небольшие коммутируемые токи, из соображений экономии можно выбрать достаточно простые и дешевые разъединители с ручным приводом.

Основным требованием при выборе разъединителей является коммутируемый рабочий ток. Возможные варианты представлены в таблице 17. Так как все данные для расчета были определены выше, сведем их в таблицу 18.

Таблица 17 - Характеристики разъединителей

$U_{\text{ном}}$	Марка	Число полюсов	$I_{\text{макс}}$ А	Привод
35	РДЗ.1–35.І /1000 УХЛ1	3	1000	Ручной
35	РДЗ.1–35.ІІ /1000 УХЛ1	3	1000	Ручной
35	РГП-СЭЩ-35	3	630-2000	По выбору
35	РВ – 35/1000 УХЛ 2;	3	1000	Ручной
6	РВР(З)-10	3	2500	Ручной
6	РВ-6/400	3	400	Ручной
6	РВФ-6/400	3	400	Ручной
6	РВФ-6/630	3	630	Ручной
6	РВФ-6/1000	3	1000	Ручной
6	РВФЗ-6/630	3	630	Ручной

Таблица 18 - Выбор разъединителей

Обозначение на схеме	$U_{\text{ном}}$ кВ	$I_{\text{ном}}$ А	Выбранный аппарат
QS1-QS8	35	153	РДЗ.1–35.І /1000
QS9-QS10	6	243	РВ-6/400
QS11-QS12	6	250	РВ-6/400
QS13-QS14	6	271	РВ-6/400
QS14-QS15	6	16	РВ-6/400

4 Система освещения и экономическая оценка проекта

4.1 Система освещения медеплавильного цеха

После реконструкции комбината наиболее значительные изменения произошли в медеплавильном цеху. Из его состава выведена карусельная плавильная печь, а вместо нее установлена индукционная тиристорная печь УИ-5Т-2500М для плавки медного лома. Кроме того, на территории цеха размещена встроенная подстанция взамен старой, располагавшейся в отдельном здании. Схема размещения оборудования после реконструкции и требования к освещенности цеха показаны на рисунке 11.

Весь цех имеет размеры 200х35 м, высота потолка 6м. Его оборудование работает в автоматическом режиме, но во время загрузки и выгрузки требуется присутствие персонала. В связи с этим, освещение должно иметь два уровня – постоянное 75 лк во всем цеху и усиленное 300 лк в зонах, обозначенных штриховкой.

Управление основным и дополнительным освещением должно быть раздельным. По мнению руководства комбината, предпочтительным является использование светодиодных светильников. Предварительно были выбраны возможные варианты, характеристики которых представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Характеристики светодиодных светильников

Артикул	$P_{\text{потр}}$ Вт	Рассеиватель	Φ лм	Габариты
MBL-PL-1316	13	прозрачный	1600	655×130×100
MBL-PL-1312М		матовый	1200	
MBL-PL-2632	26	прозрачный	3200	1265×130×100
MBL-PL-2624М		матовый	2400	
MBL-PL-3037	30	прозрачный	3700	
MBL-PL-3028М		матовый	2800	
MBL-PL-3948	39	прозрачный	4800	
MBL-PL-3936М		матовый	3600	



Рисунок 11 - Размещение оборудования и требования к освещенности

Из всех возможных был выбран светильник MBL-PL-3037, характеристики которого приведены в таблице 20.

Таблица 20 - Характеристики светильника MBL-PL-3037

Напряжение питания переменного тока	185...265 В
Коэффициент мощности	>0.96
Пульсации светового потока	<1%
Индекс цветопередачи Ra	>80
Тип кривой силы света	Д

Для расчета количества светильников методом коэффициента использования светового потока [16] воспользуемся известной формулой

$$N = \frac{E_{\text{мин}} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta}, \quad (15)$$

где $E_{\text{мин}}$ - требуемая минимальная освещенность,

k – коэффициент запаса,

S – площадь помещения,

Z – коэффициент неравномерности освещения,

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одного светильника,

n – число светильников,

η – коэффициент использования светового потока.

Определим вышеуказанные величины. Для общего освещения цеха, согласно заданию, должно быть $E_{\text{мин}} = 75$ лк. Коэффициент запаса отражает старение ламп и ухудшение отражающей способности внутренних поверхностей помещения. Для светодиодных светильников и помещения со значительным количеством копоти примем $k=1,8$. Площадь помещения $S=200 \cdot 35=7000$ м². Коэффициент неравномерности освещения при расположении светильников в линию рекомендуется для светодиодных ламп $Z=1,1$. Для выбранного светильника $\Phi_{\text{л}}=3600$ лм. Так как характеристики даны для всего светильника, количество ламп в данном

случае следует принять равным 1. Остается найти коэффициент использования светового потока η .

Этот коэффициент показывает, какая часть светового потока светильника используется по назначению. Он зависит от геометрических параметров помещения, отражательной способности потолка, стен и пола, а также от кривой силы света.

Для пыльных помещений принято выбирать следующие значения коэффициентов отражения:

- для потолка 30%;
- для стен 10%;
- для пола 10%.

Тип кривой силы света «Д» приведен в его характеристиках.

Геометрия помещения учитывается индексом помещения, рассчитываемым по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} \quad (16)$$

Длина и ширина, согласно исходных данных, составляют 200 м и 35 м. При расчете высоты учитывается свес светильников и высота рабочей поверхности, но в данном случае они крепятся непосредственно на потолке, а рабочей поверхностью является пол. Таким образом, высота помещения $h=6$ м. Тогда

$$i = \frac{200 \cdot 35}{6 \cdot (200+35)} = 4,96.$$

По таблице находим $\eta=0,81$ и получаем

$$N = \frac{75 \cdot 1,8 \cdot 7000 \cdot 1,1}{3700 \cdot 1 \cdot 4,96} = 57.$$

Предположительно, светильники можно разместить в три ряда по 19 штук вдоль помещения, однако при этом расстояния между ними будут около 10 м. Однако, согласно [15], относительное расстояние λ при косинусной кривой силы света («Д») рекомендуется брать равным 1,6. То есть для высоты $h=6$ м расстояние между светильниками должно быть

$$L = 1,6\lambda = 9,6 \text{ м.}$$

Такое минимальное расстояние может быть при расположении светильников в 4 ряда по 22 штуки, как это показано на рисунке 12.

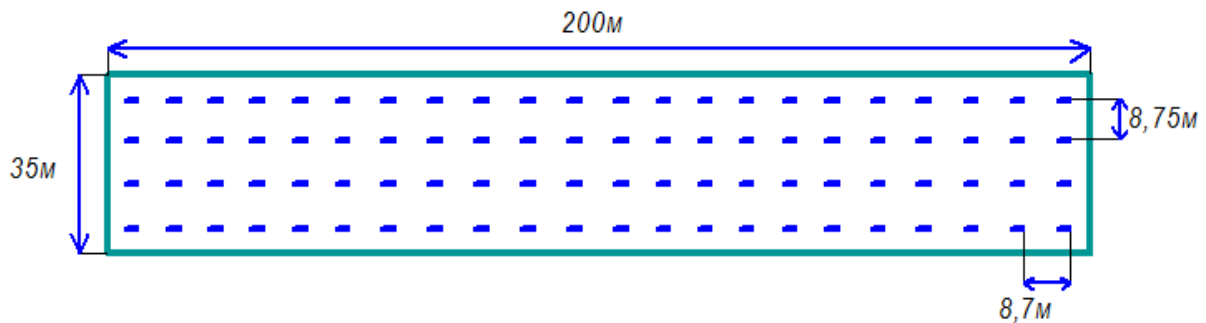


Рисунок 12 – Расположение светильников

Для выбора светильника нужно решить обратную задачу – найти световой поток при известном количестве светильников. Для этого применяется формула

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{мин}} \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} \quad (17)$$

Выполнив расчеты, получим $\Phi_{\text{л}}=2047$ лм. Выбираем MBL-PL-2624M мощностью 26 Вт с матовым рассеивателем и световым потоком 2400 лм.

Рассчитанная система общего освещения обеспечивает освещенность 75 лк в любом месте цеха, однако требуется еще обеспечить зоны повышенной освещенности 300 лк, показанные на схеме пунктиром. Так как освещенность 75 лк обеспечивается общим освещением цеха, локальное освещение должно обеспечить добавочную освещенность 225 лк.

Две одинаковые зоны вблизи печей Ванюкова имеют размеры 40x5 м каждая. Рассмотрим вариант размещения дополнительных светильников в ряд, дополнительно к уже имеющимся. Выберем из таблицы 19 светильник MBL-PL-3948 с прозрачным рассеивателем мощностью 39 Вт и световым потоком 4800 лм. Воспользуемся формулой 15 и получим

$$N = \frac{E_{\text{мин}} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta} = \frac{225 \cdot 1,1 \cdot 200 \cdot 1,8}{4800 \cdot 1 \cdot 4,96} = 3,74.$$

Принимаем решение установить между имеющимися 26-ваттными светильниками дополнительно 4 39-ваттных.

Зоны повышенной освещенности возле конверторов имеют размеры 10x25 м каждая. Предположительно, можно вышеописанные светильники 26 Вт и 3700 лм применить и в данном случае. Определим их количество

$$N = \frac{E_{\text{мин}} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta} = \frac{225 \cdot 1,1 \cdot 250 \cdot 1,8}{3700 \cdot 1 \cdot 4,96} = 6.$$

Аналогичные расчеты выполним и для остальной зоны размером 25x40 м и получим значение 24 светильника. Окончательная схема размещения светильников приведена на рисунке 13, а на рисунке 14 показана электрическая схема.

Система основного освещения содержит 88 светильников мощностью 36 Вт. Ее общая потребляемая мощность составляет 2288 Вт. Дополнительная система освещения включает 36 светильников мощностью 26 Вт и 4 мощностью 39 Вт. Ее общая мощность равна 1092 Вт. Вся система освещения будет потреблять 3380 Вт, что является показателем ее экономичности. Срок службы выбранных светильников, согласно заявленных изготовителем характеристик, составляет 100000 часов. Таким образом, разработанная система освещения отвечает самым современным требованиям по энергоэффективности и долговечности [1].

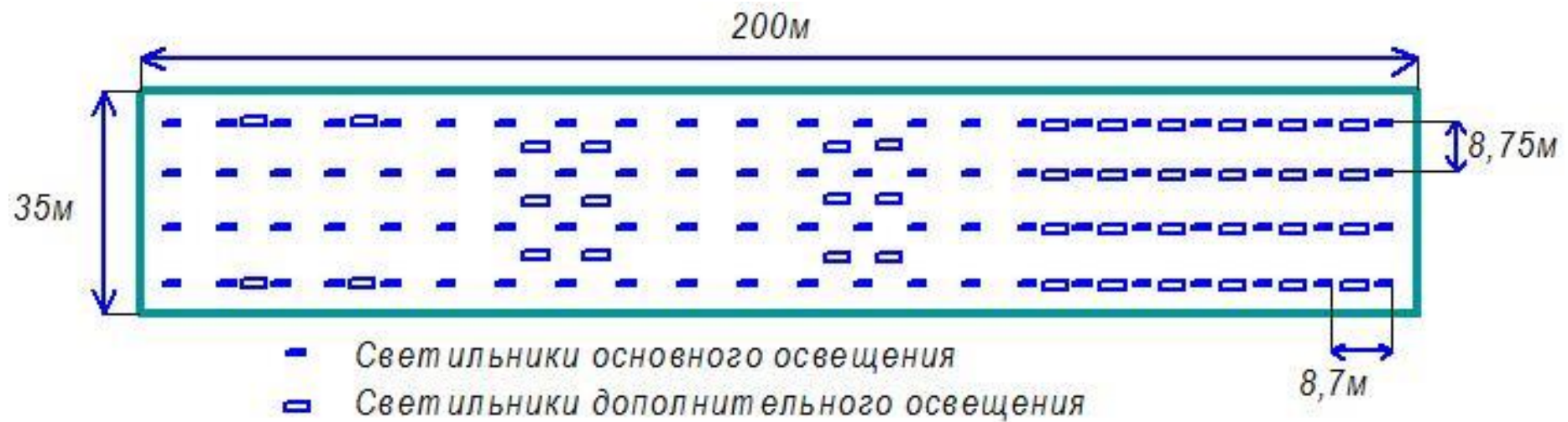


Рисунок 13 – Схема размещения светильников в медеплавильном цеху.

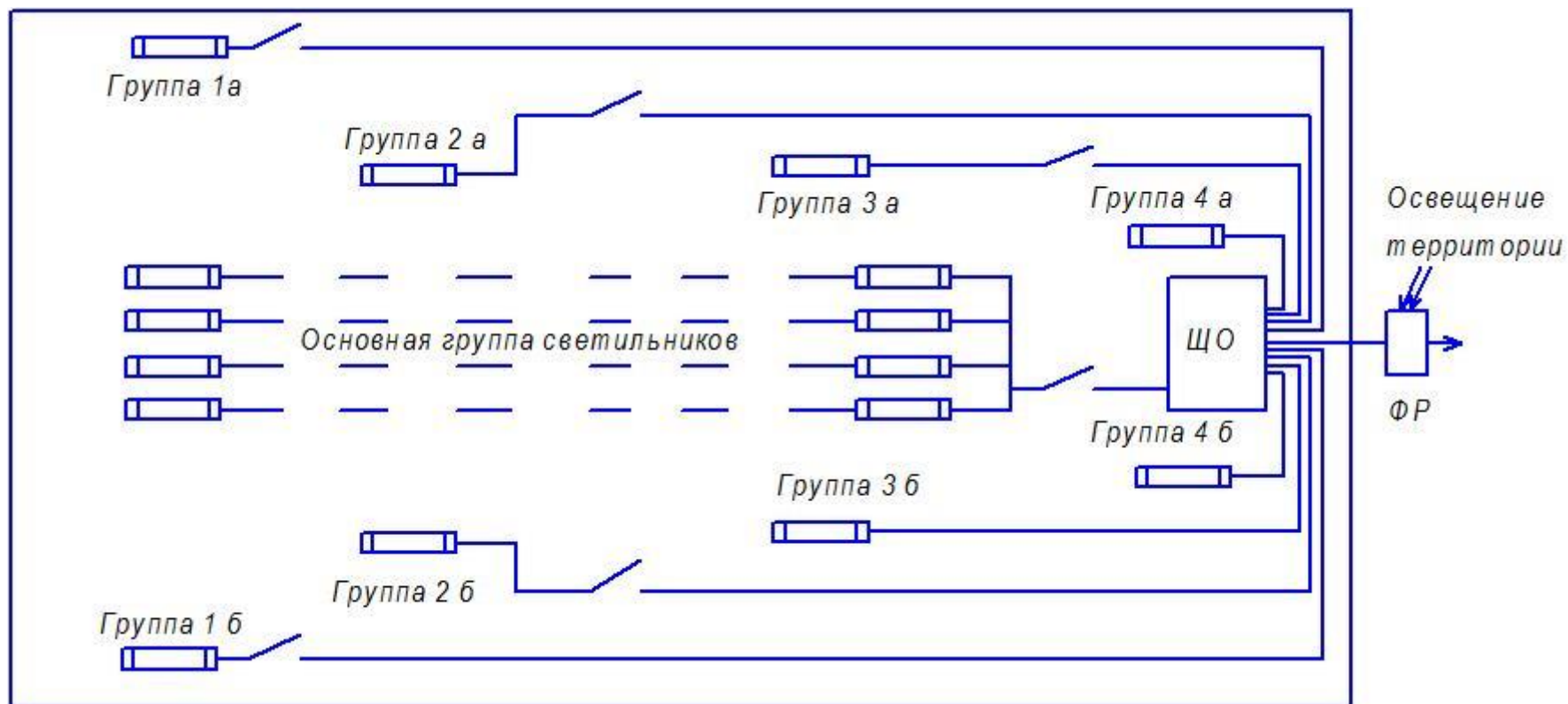


Рисунок 13 – Электрическая схема системы освещения

4.2 Экономический анализ проекта

Затраты на проект складываются из цены трансформаторов, коммутационного оборудования, материалов для строительства двухцепной воздушной линии к питающей подстанции, местных кабельных линий и системы освещения. Отдельно оплачиваются строительно-монтажные работы.

Удельная стоимость двухцепной линии 35 кВ [6,7] при использовании провода АС-15/24 составляет 927800 руб за 1 км. Для всей линии длиной 6,5 км цена составит **6,031 млн. руб.**

Стоимость кабеля ААШв3х70 составляет 419 руб за метр. Всего его нужно проложить в общей сложности 400м. Стоимость кабеля составит 167600 руб. К этому нужно прибавить стоимость его прокладки 300 руб за метр. В целом сооружение кабельных линий обойдется в **287600 руб.**

Система освещения со стоимостью монтажа обойдется в **565000 руб.**

Стоимость приобретаемых трансформаторов и коммутационного оборудования с учетом транспортировки и монтажа показана в таблице 22.

Просуммировав вышеуказанные цифры, получим общие затраты на реконструкцию системы электроснабжения объекта 33894770 рублей.

Таблица 22 - Стоимость трансформаторов и коммутационного оборудования

Оборудование	Кол-во	Цена за комплект	Цена за все
ТМН-10000/35/6	2	8200000	16400000
ТСЗ-4000/6/0,4	2	2900000	5800000
ТСЗ-1600/6/0,4	2	1760000	3520000
ТСЗ-530/6/0,4	1	655000	655000
ВВН-СЭЦ 35КВ	2	134800	269600
ВБСК-Р-10	5	32000	160000
РДЗ.1-35.1/1000	8	12650	63250
РВ-6/400	8	11540	93320
Расходные материалы			50000
Итого			27011170 руб

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы была спроектирована система электроснабжения группы цехов плавильного комбината. На основе расчетов обоснована радиальная структура данной системы с рассредоточением силовых трансформаторов и распределительных устройств по цехам предприятия.

Основные трудности возникли из-за замены старых плавильных печей на новую индукционную печь мощностью 2,5 МВт. По причине использования сравнительно низкого напряжения питания - 400 В большой рабочий ток данной печи не позволял обеспечить ее питание по кабелю. В связи с этим было принято решение разместить в непосредственной близости обслуживающие ее силовые трансформаторы, от которых с помощью шинопроводов осуществлять питание индукторов. При этом было признано целесообразным вместо прежней трансформаторной подстанции в отдельном здании оснастить плавильный цех дополнительными трансформаторами и распределительными устройствами, то есть оборудовать встроенную подстанцию.

Были критически оценены элементы прежней системы электроснабжения и предложено заменить их большую часть на новые, отвечающие современным требованиям по надежности и долговечности. В частности, маломасляные выключатели предложено заменить на вакуумные.

Одной из частных задач работы было проектирование новой системы освещения. По результатам светотехнических расчетов были выбраны экономичные светодиодные светильники и определено их оптимальное размещение. Это позволило существенно сэкономить затраты. Также в систему освещения была введена автоматика, обеспечивающая дополнительную экономию.

Разработанные технические предложения позволят обеспечить надежное электропитание всего оборудования комбината и могут найти применение в учебном процессе университета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 8709-82 Щитки осветительные для промышленных и общественных зданий. Общие технические условия. URL: https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_8709-82.
2. ГОСТ Р 52735-2007, Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кв..URL: <https://yandex.ru/yandsearch?clid=2028026&text=%D0%B3%D0%BE%D1%81%D1%82%20%D1%80%2052735&lr=51>
3. Правила устройства электроустановок. М.: ЭНАС, 2015. - 552 с.
4. РТМ 36.18.32.4-92* - Указания по расчету электрических нагрузок ВНИПИ Тяжпромэлектропроект. Москва 1992
URL: https://znaytovar.ru/gost/2/RTM_361832492_Ukazaniya_po_ras.html.
5. РД 153-34.0-20.527-98 "Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования" М.:Омега-Л, 2014, 272с.
6. Сборник «Укрупненные стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35-750 кВ» от 21 октября 2014 г. № 477
URL: <http://www.minstroyrf.ru/trades/view.industry.php> папка ФСК.
7. Сборник укрупненных показателей стоимости строительства (реконструкции) подстанций и линий электропередачи для нужд ОАО «Холдинг МРСК» (г. Москва, 2012 г.).
8. Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ // Официальный сайт ПАО "Россети" .
URL: https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_atandart/doc/34.01-3.1-002-2016.
9. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения. Теплоэнергетик. М. : Интехэнерго-Издат, 2014. 304с.

10. Типовые схемы принципиальные электрические распределительных устройств напряжением 6-750 кВ подстанций и указания по их применению» СО-278ТМ-2007, г. Москва, 2007 г).
11. Внутрицеховое электроснабжение: –
URL: https://studopedia.ru/4_114193_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html
12. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Самарской области на 2017-2021 году. Утв. Постановлением Губернатора Самарской области от 18.12.2016г.
13. Афонин, В. В. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции : учебное пособие / В. В. Афонин, К. А. Набатов. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 90 с. — ISBN 978-5-8265-1387-3.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/64621..>
14. Вахнина В. В. Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие.: Тольятти, 2016.
15. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Учебное пособие/Учреждение образования «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015.
16. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368с.
17. Кокин, С. Е. Схемы электрических соединений подстанций : учебное пособие / С. Е. Кокин, С. А. Дмитриев, А. И. Хальясмаа. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 100 с. — ISBN 978-5-7996-1457-7.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/68483.html> .
18. Красик В.В. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах : пособие для изучения и подготовки к проверке знаний / — Москва : ЭНАС, 2017. — 512 с. — ISBN 978-5-4248-0092-4.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/76932.html> .

19. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 2-е изд., перераб. и доп. 352 с.
20. Матаев, У. М. Короткие замыкания и защита линий 0,4-35 кВ. II часть - 2110002 «Монтаж и наладка электрооборудования электрических станций, подстанций и линий электропередач» / У. М. Матаев, А. А. Абдурахманов, Б. А. Алиев. — Алматы : Нур-Принт, 2015. — 185 с. — ISBN 2227-8397.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/67069.html>.
21. Сибкин Ю.Д. Сибикин М. Ю. Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368с.
22. Сивков А.А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174с.
23. Суворин А.В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544с.
24. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М. : Форм. Инфра-М, 2014. 596с.