

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Повышение энергоэффективности режима работы дугоплавильных печей ОАО «Волгоцеммаш»

Студент

Д.И. Москалев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.Н. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

Е.В. Косс

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

Название данной выпускной квалификационной работы – “Повышение энергоэффективности режима работы дуго-плавильных печей ОАО Волгоцеммаш”

В ней описываются методы повышения энергоэффективности дуговых сталеплавильных печей и сталеплавильного производства в целом.

Работа состоит из пояснительной записки объемом 52 страницы, которая включает 2 рисунка, 8 таблиц, список используемых источников из 20 наименований, в том числе 5 на английском языке, одного приложения, содержащего 7 рисунков, и графической части на 6 листах формата А1.

Работу можно разделить на несколько частей: расчет энергопотребления ДСП печей и потерь в печных трансформаторах, расчет энергопотребления модернизированных ДСП печей и потери в замененных печных трансформаторах.

Модернизация печей заключается в добавлении к конструкции каждой печи дополнительного резервуара для предварительного подогрева металла, а трансформаторы необходимо заменить на более мощные, так как в процессе исследования оказалось, что они перегружены.

Также были проведены расчет токов короткого замыкания и выбор защитного оборудования и проводников для уверенности в стабильной работе и безопасности оборудования.

В последней части работы были проведены экономические расчеты для подтверждения рациональности и окупаемости модернизаций.

Abstract

The title of the graduation work is “Increase of energy efficiency of operating mode of arc furnaces of OJSC “Volgotsemmash””

This work is about methods to increase the energy efficiency of arc furnaces and steelmaking production in general.

The work consist of an explanatory note on __ pages, introduction, including __ figures, __ tables, the list of __ references including 5 foreign sources and 7 appendices, and the graphic part on 6 A1 sheets.

This work may be divided into several parts which are calculation of energy consumption of arc furnaces and losses in furnace transformers, calculation of energy consumption of modernized arc furnaces and losses in replaced furnace transformers.

The modernization of the furnaces consists in adding to the design of each furnace an additional reservoir for preheating the metal and the transformers need to be replaced with more powerful ones, as in the process of research it turned out that they are overloaded.

Also calculation of short-circuit currents and selection of protective equipment and conductors will be carried out for confidence of stable work and safety of equipment.

In the last part of the work economic calculation will be carried out to prove the rationality and payback of these upgrades.

Содержание

Введение.....	6
1 Характеристика металлургического производства ОАО «Волгоцеммаш»	8
2 Расчет потерь в действующих на производстве печных трансформаторах и потребления электроэнергии печей.....	10
2.1 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 7500/10 и потребление электроэнергии первой печи ДСП-10.....	10
2.2 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 7500/10 и потребление электроэнергии второй печи ДСП-10.....	14
2.3 Расчет потерь трансформатора ЭТЦН 32000/35 и потребление электроэнергии печи ДСП-40.....	17
3 Расчет потерь в печных трансформаторах предполагаемых на замену и потребления электроэнергии печи с учетом введения системы предварительного подогрева лома.....	21
3.1 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 12500/10 и потребления электроэнергии первой печи ДСП 10.....	21
3.2 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 12500/10 и потребления электроэнергии второй печи ДСП-10.....	24
3.3 Расчет потерь трансформатора ЭТЦН 50000/35 и потребления электроэнергии печи ДСП 40.....	27
4 Расчет токов короткого замыкания.....	30
4.1 Расчет токов короткого замыкания для выбранных трансформаторов первой и второй печей ДСП-10.....	30
4.2 Расчет токов короткого замыкания для выбранных трансформаторов печи ДСП-40.....	35
5 Выбор средств защиты и проводников для печных трансформаторов.....	38
5.1 Выбор выключателей для высокой стороны трансформатора.....	38
5.2 Выбор проводников для линий электропередач.....	41
6 Техничко-экономический расчет.....	43
6.1 Расчет экономии средств и энергии в случае замены трансформаторов.	43

6.2 Расчет суммарной экономии электроэнергии и денежных средств в случае замены печных трансформаторов.....	44
6.3 Расчет срока окупаемости мероприятий.....	45
Заключение.....	49
Список используемых источников.....	51
Приложение А.....	53

Введение

Энергоэффективность — рациональное использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. Достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.

Повышение энергоэффективности играет важную роль в развитии производства. Стремление к повышению энергоэффективности у руководства предприятия может привести к значительному повышению производства на предприятии, к существенной экономии денежных средств или к некому балансу между тем и другим.

Введение в производство новых технологий в целях повышения энергоэффективности может положительно сказаться на предприятии, ввиду того, что эти технологии помимо основных характеристик, из-за которых их берут на вооружение могут обладать дополнительными, которые повысят скорость изготовления или качество конечного товара или понизить его стоимость изготовления.

В России большое количество заводов и производств были построены во времена СССР, которые с тех пор сильно и не модернизировались. На них довольно много проблем связанных с энергоэффективностью, например в цехах стоит несколько трансформаторов, которые ввиду изменения процесса производства и замены некоторого оборудования очень сильно недогружены, выведены из строя конденсаторные установки, предназначенные для компенсации реактивной мощности и некоторые другие проблемы.

К таким производствам относится и ОАО «Волгоцеммаш», на котором была пройдена преддипломная практика. С этого производства были взяты некоторые данные о цехе №1, которые помогут произвести расчет некоторых мер по повышению энергоэффективности сталеплавильного производства, путем оптимизации работы главных электроприемников на этом производстве

– дуговых сталеплавильных печей. Конкретно в этой работе будет проводится расчет энергопотребления и потерь в печных трансформаторах ДСП при нынешнем положении дел, выбор новых, подходящих по мощности, трансформаторов, расчет параметров при внедрении системы предварительного подогрева лома, выбор проводников и средств защиты для трансформаторов сравнение электропотребления до и после модернизации электроэнергии и технико-экономический расчет.

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 был освоен выпуск технологического оборудования, дробильно-размольного, обжиговых печей, а в 1961 г. был запущен металлургический комплекс.

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

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

Благодаря заводу начал активно строиться и город Тольятти. Появился целый район с детскими садами, школами, институтами, техникумами, объектами культуры и отдыха. ОАО «Волгоцеммаш» стал первым градообразующим предприятием города и, по сути, определил его дальнейшую судьбу. Благодаря созданной в те годы инфраструктуре именно в Тольятти было принято решение построить «АвтоВаз», а также целый ряд крупных химических предприятий.

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, удалось попасть в сталелитейный цех №1. Сам цех представляет собой старое здание советских времен с большим количеством старого оборудования.

Тщательно изучив энергосистему цеха и опросив рабочих, получил сведения о том, что трансформаторы самых мощных в этом цехе электроприемников – ДСП печей – перегружены и для повышения энергоэффективности данного производства необходимо их заменить. Таким образом, суть данной выпускной квалификационной работы заключается в расчете электропотребления и потерь до и после модернизации и их сравнение. Сравнение будет проводиться по потреблению цехом №1 электроэнергии (на рисунке 1 в приложении отображен годовой график потребления электроэнергии), а после и по денежным затратам на электроэнергию.

Все расчеты основаны на графиках мощности печей за один цикл работы, что представлены на рисунках 2, 3 и 4 в приложении.

Также была получена информация о том, что число часов использования печей равно 6000 и за день происходит 12 циклов работы ДСП 10 и 6 циклов работы ДСП 40.

2 Расчет потерь в действующих на производстве печных трансформаторах и потребление электроэнергии печей

2.1 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 7500/10 и потребление электроэнергии первой печи ДСП-10

Выпишем необходимые для расчета параметры:

$$\Delta P_{XX} = 17,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{K3} = 84,6 \text{ кВт}$$

$$U_{K3} = 16,5 \%$$

$$I_{XX} = 0,92 \%$$

$$k_{ин} = 0,05$$

$$\cos\varphi = 0,85$$

Найдем потери реактивной мощности в трансформаторе в режимах XX и K3 по формуле:

$$Q_X = \frac{i_{XX} \cdot S_{ном.т}}{100} \quad (2.1)$$

$$Q_K = \frac{U_{K3} \cdot S_{ном.т}}{100} \quad (2.2)$$

Рассчитаем потери реактивной мощности в трансформаторе в режимах XX и K3:

$$Q_X = \frac{0,92 \cdot 5000}{100} = 46 \text{ кВт}$$

$$Q_K = \frac{16,5 \cdot 5000}{100} = 825 \text{ квар}$$

Определяем приведенные потери активной мощности трансформатора в XX и K3 режимах по следующим формулам:

$$P'_X = \Delta P_{XX} + k_{ип} \cdot Q_{XX} \quad (2.3)$$

$$P'_K = \Delta P_{K3} + k_{ип} \cdot Q_K \quad (2.4)$$

Рассчитаем приведенные потери активной мощности трансформатора в режимах XX и КЗ:

$$P'_X = 17,5 + 0,05 \cdot 46 = 19,8$$

$$P'_K = 84,6 + 0,05 \cdot 825 = 125,85$$

Определим коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора с помощью формулы:

$$k_3 = \frac{S_1}{S_{ном.т}} \quad (2.5)$$

Рассчитаем коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора:

$$k_3 = \frac{6322}{5000} = 1,26$$

Определим потери электроэнергии используя формулы:

$$\Delta W_{X1} = n \cdot P'_X \cdot T_1 \quad (2.6)$$

$$\Delta W_{K1} = \frac{1}{n} \cdot P'_K \cdot k_3^2 \cdot T_1 \quad (2.7)$$

Рассчитаем потери электроэнергии:

$$\Delta W_{x1} = 1 \cdot 19,8 \cdot 0,25 = 4,95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{k1} = 1 \cdot 125,85 \cdot 1,26^2 \cdot 0,25 = 59,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Остальные расчеты проводим аналогичным образом и полученные результаты запишем в таблицу 1.

Таблица 1 - Потери электроэнергии за 1 цикл первой печи ДСП-10

i	S _i , кВА	T _i , ч	W _{xi} , кВт·ч	k _з	W _{ki} , кВт·ч
1	6322	0,25	4,95	1,26	49,95
2	6322	0,14	2,77	1,26	27,97
3	5834	0,25	4,95	1,17	43,07
4	7100	0,2	3,96	1,5	56,63
5	6920	0,15	2,97	1,38	35,95
6	5067	0,29	5,74	1,01	37,23
7	3815	0,21	4,16	0,76	15,27
8	3019	0,09	1,78	0,6	4,08
9	2132	0,14	2,77	0,43	3,26
10	1084	0,14	2,77	0,22	0,85
11	2433	0,14	2,77	0,49	4,23
Σ			39,59		278,49
			$\Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 318,08 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$		

Рассчитаем суточные потери электроэнергии по формуле:

$$\Delta W_{\text{ЭПП1.год}} = \Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} \cdot n_{\text{цикл}} \cdot n_{\text{дн}} \quad (2.8)$$

Определим значение годовых потерь электроэнергии:

$$\Delta W_{\text{ЭПП1.год}} = 318,08 \cdot 12 \cdot 250 = 954000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее вычислим экономическую составляющую для трансформатора ЭТЦПК 7500/10

Для начала найдем общее потребление энергии печью на цикл по формуле:

$$W_{\text{ЭПП1.цикл}} = (S_1 \cdot T_1 + S_2 \cdot T_2 + S_3 \cdot T_3 + S_4 \cdot T_4 + S_5 \cdot T_5 + S_6 \cdot T_6 + S_7 \cdot T_7 + S_8 \cdot T_8 + S_9 \cdot T_9 + S_{10} \cdot T_{10} + S_{11} \cdot T_{11}) \cdot \cos \varphi \quad (2.9)$$

Рассчитаем общее потребление энергии печью за цикл:

$$W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 6322 \cdot 0,25 + 6322 \cdot 0,14 + 5834 \cdot 0,25 + 7100 \cdot 0,2 + 6920 \cdot 0,15 + 5067 \cdot 0,29 + 3815 \cdot 0,21 + 3019 \cdot 0,09 + 2132 \cdot 0,14 + 1084 \cdot 0,14 + 243 \cdot 0,14 \cdot 0,85 = 8257,95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Определим общее потребление энергии печью за год по формуле:

$$W_{\text{ЭПП1.год}} = W_{\text{ЭПП1.цикл}} \cdot n_{\text{цикл}} \cdot n_{\text{дн}} \quad (2.10)$$

Рассчитаем общее потребление энергии печью за год:

$$W_{\text{ЭПП1.год}} = 8325,52 \cdot 12 \cdot 250 = 24976560 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Произведем расчет стоимости годовых потерь и потребления электроэнергии первой печи ДСП-10:

По полученной с предприятия информации, электроэнергия закупается у предприятия ПАО «Самараэнерго» по цене 1164 руб. за один МВт · ч, значит стоимость одного кВт · ч $C_{\text{Э}} = 1,164$ руб.

$$I_{\Delta} = \Delta W_{\text{ЭПП1.год}} \cdot C_{\text{Э}} \quad (2.11)$$

Рассчитаем стоимость потерь электроэнергии первой печи ДСП-10:

$$I_{\Delta} = 954000 \cdot 1,164 = 1110456 \text{ руб}$$

Стоимость потребления электрической энергии определим по формуле:

$$I_{\text{ЭП}} = W_{\text{ЭПП1.год}} \cdot C_{\text{Э}} \quad (2.12)$$

Рассчитаем стоимость годового потребления электроэнергии первой печью ДСП 10:

$$I_{\text{ЭП1}} = 24976560 \cdot 1,164 = 29072715,84 \text{ руб}$$

2.2 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 7500/10 и потребление электроэнергии второй печи ДСП-10

Выпишем необходимые для расчета параметры:

$$\Delta P_{\text{ХХ}} = 17,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{КЗ}} = 84,6 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{КЗ}} = 16,5 \%$$

$$I_{\text{ХХ}} = 0,92 \%$$

$$k_{\text{ин}} = 0,05$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

Так как печь №2 питается от такого же трансформатора, что и печь №1 значения приведенных потерь активной мощности трансформатора в режимах XX и КЗ возьмем из пункта 2.1.

Рассчитаем коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора по формуле 2.5:

$$k_3 = \frac{6125}{5000} = 1,23$$

Определим потери электроэнергии используя формулы 2.6 и 2.7:

$$\Delta W_{x1} = 1 \cdot 19,8 \cdot 0,25 = 4,95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{k1} = 1 \cdot 125,85 \cdot 1,26^2 \cdot 0,25 = 59,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Остальные расчеты проводим аналогичным образом и полученные результаты занесем в таблицу 2.

Таблица 2 - Потери электроэнергии за 1 цикл второй печи ДСП-10

i	S _i , кВА	T _i , ч	W _{xi} , кВт·ч	k ₃	W _{ki} , кВт·ч
1	6125	0,25	4,95	1,23	47,6
2	6120	0,14	2,77	1,22	26,22
3	5489	0,25	4,95	1,1	38,07
4	7100	0,2	3,96	1,5	56,63
5	7153	0,15	2,97	1,43	38,6
6	5234	0,25	5,74	1,05	34,69
7	3715	0,25	4,16	0,74	17,23
8	2959	0,09	1,78	0,59	3,94
9	2217	0,14	2,77	0,44	3,41

Продолжение таблицы 2

10	1255	0,14	2,77	0,25	1,1
11	2014	0,14	2,77	0,4	2,82
Σ			39,59		270,31
			$\Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 309,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$		

Рассчитаем суточные потери электроэнергии по формуле 2.8:

$$\Delta W_{\text{ЭПП2.год}} = 309,9 \cdot 12 \cdot 250 = 929700 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее вычислим экономическую составляющую для трансформатора ЭТЦПК 7500/10

Для начала найдем общее потребление энергии печью на цикл по формуле 2.9:

$$\begin{aligned} W_{\text{ЭПП1.цикл}} = & 6125 \cdot 0,25 + 6120 \cdot 0,14 + 5489 \cdot 0,25 + 7100 \cdot 0,2 + 7153 \cdot 0,15 \\ & + 5234 \cdot 0,25 + 3715 \cdot 0,25 + 2959 \cdot 0,09 + 2217 \cdot 0,14 + 1255 \\ & \cdot 0,14 + 2014 \cdot 0,14 \cdot 0,85 = 8096,12 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Определим общее потребление энергии печью за год по формуле 2.10:

$$W_{\text{ЭПП1.год}} = 8096,12 \cdot 12 \cdot 250 = 24288360 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Произведем расчет стоимости годовых потерь и потребления электроэнергии второй печи ДСП-10:

Рассчитаем стоимость потерь электроэнергии первой печи ДСП-10 по формуле 2.11:

$$И_{\Delta} = 929700 \cdot 1,164 = 1082170,8 \text{ руб}$$

Рассчитаем стоимость годового потребления электроэнергии первой печью ДСП 10 по формуле 2.12:

$$И_{ЭП} = 24288360 \cdot 1,164 = 28271651,04 \text{ руб}$$

2.3 Расчет потерь трансформатора ЭТЦН 32000/35 и потребление электроэнергии печи ДСП-40

Выпишем необходимые для расчета параметры:

$$\Delta P_{XX} = 29,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{K3} = 143,4 \text{ кВт}$$

$$U_{K3} = 9,7 \%$$

$$I_{XX} = 0,39 \%$$

$$k_{ин} = 0,05$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

Найдем потери реактивной мощности в трансформаторе в режимах XX и КЗ по формулам 2.1 и 2.2:

$$Q_X = \frac{0,39 \cdot 20000}{100} = 78 \text{ кВт}$$

$$Q_K = \frac{9,7 \cdot 20000}{100} = 1940 \text{ квар}$$

Определяем приведенные потери активной мощности трансформатора в XX и КЗ режимах по следующим формулам 2.3 и 2.4:

$$P'_X = 29,2 + 0,05 \cdot 78 = 33,1 \text{ кВт}$$

$$P'_K = 143,4 + 0,05 \cdot 1940 = 240,4 \text{ кВт}$$

Определим коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора с помощью формулы 2.5:

$$k_{3_1} = \frac{20250}{20000} = 1,01$$

Определим потери электроэнергии используя формулы 2.6 и 2.7:

$$\Delta W_{x1} = 1 \cdot 33,1 \cdot 0,25 = 4,95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{k1} = 1 \cdot 240,4 \cdot 1,01^2 \cdot 0,25 = 61,21 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Остальные расчеты проводим аналогичным образом и полученные результаты запишем в таблицу 3.

Таблица 3 - Потери электроэнергии за 1 цикл печи ДСП-40

i	S _i , кВА	T _i , ч	W _{xi} , кВт·ч	k ₃	W _{ki} , кВт·ч
1	20250	0,25	8,28	1,01	61,3
2	20115	0,23	7,61	1,01	56,4
3	18023	0,27	8,94	0,9	52,58
4	20596	0,25	8,28	1,03	63,76
5	25168	0,2	6,62	1,26	76,33
6	28239	0,17	5,63	1,51	93,18
7	24651	0,17	5,63	1,23	61,83
8	28245	0,25	8,28	1,51	137,03
9	25922	0,4	13,24	1,29	160,01
10	22021	0,25	8,28	1,1	72,72
11	17512	0,5	16,55	0,88	93,08
12	14066	0,17	5,63	0,7	20,03
13	11954	0,25	8,28	0,6	21,64
14	7894	0,08	2,65	0,39	2,93

Продолжение таблицы 3

15	10249	0,17	5,63	0,51	10,63
Σ			119,53		983,45
			$\Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 1102,98 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$		

Рассчитаем суточные потери электроэнергии по формуле 2.8:

$$\Delta W_{\text{ЭПП3.год}} = 1102,98 \cdot 12 \cdot 250 = 3308940 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее вычислим экономическую составляющую для трансформатора ЭТЦН 32000:

Для начала найдем общее потребление энергии печью на цикл по формуле 2.9:

$$\begin{aligned} W_{\text{ЭПП1.цикл}} = & 20250 \cdot 0,25 + 20115 \cdot 0,23 + 18023 \cdot 0,27 + 20596 \cdot 0,25 \\ & + 25168 \cdot 0,2 + 28239 \cdot 0,17 + 24651 \cdot 0,17 + 28245 \cdot 0,25 + 25922 \\ & \cdot 0,4 + 22021 \cdot 0,25 + 17512 \cdot 0,17 + 14066 \cdot 0,17 + 11954 \cdot 0,25 \\ & + 7894 \cdot 0,08 + 10249 \cdot 0,17 \cdot 0,85 = 57285,72 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Определим общее потребление энергии печью за год по формуле 2.10:

$$W_{\text{ЭПП1.год}} = 57285,72 \cdot 12 \cdot 250 = 171857160 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Произведем расчет стоимости годовых потерь и потребления электроэнергии печи ДСП-40:

Рассчитаем стоимость потерь электроэнергии печи ДСП-40 по формуле 2.11:

$$И_{\Delta} = 3308940 \cdot 1,164 = 3851606,16 \text{ руб}$$

Рассчитаем стоимость годового потребления электроэнергии первой печью ДСП-10 по формуле 2.12:

$$И_{\text{ЭП}} = 171857160 \cdot 1,164 = 200041734,24 \text{ руб}$$

3 Расчет потерь в печных трансформаторах предполагаемых на замену и потребления электроэнергии печи с учетом введения системы предварительного подогрева лома

Выбор предполагаемого на замену печного трансформатора для печи ДСП.

Предполагаемый на замену трансформатор должен соответствовать условию:

$$S_{\text{т.ном}} \geq \frac{S_{\text{max}}}{0,9} \quad (3.1)$$

$S_{\text{max.ЭПП1}} = 7100$ кВА, поэтому выбираем печной трансформатор ЭТЦПК – 12500/10, так как его номинальная мощность $S_{\text{т.ном}} = 8000$ кВА.

$S_{\text{max.ЭПП2}} = 7100$ кВА, поэтому выбираем печной трансформатор ЭТЦПК – 12500/10, так как его номинальная мощность $S_{\text{т.ном}} = 8000$ кВА.

$S_{\text{max.ЭПП3}} = 28245$ кВА, поэтому выбираем печной трансформатор ЭТЦН – 50000/35, так как его номинальная мощность $S_{\text{т.ном}} = 32000$ кВА.

Дополнительно внедрим в печи систему предварительного нагрева лома. Для этого требуется присоединить к печам дополнительные резервуары, присоединенные через газоходы, которые ранее охлаждали выхлопные газы печей и ослабить эту систему охлаждения так, чтобы температура выхлопных газов достигала 800°C во избежание излишнего окисления.

Графики нагрузок печных трансформаторов отображены в приложении А (А.5, А.6 и А.7).

3.1 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 12500/10 и потребления электроэнергии первой печи ДСП-10

Выпишем необходимые для расчета параметры:

$$\Delta P_{\text{XX}} = 18 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{КЗ}} = 96,8 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{КЗ}} = 7,5 \%$$

$$I_{\text{XX}} = 0,75 \%$$

$$k_{ин} = 0,05$$

$$\cos\varphi = 0,85$$

Найдем потери реактивной мощности в трансформаторе в режимах XX и КЗ по формулам 2.1 и 2.2:

$$Q_X = \frac{0,75 \cdot 8000}{100} = 60 \text{ кВт}$$

$$Q_K = \frac{7,5 \cdot 8000}{100} = 600 \text{ квар}$$

Определяем приведенные потери активной мощности трансформатора в XX и КЗ режимах по следующим формулам 2.3 и 2.4:

$$P'_X = 18 + 0,05 \cdot 60 = 21 \text{ кВт}$$

$$P'_K = 96,8 + 0,05 \cdot 600 = 126,8 \text{ кВт}$$

Определим коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора с помощью формулы 2.5:

$$k_{з_1} = \frac{6322}{8000} = 0,79$$

Определим потери электроэнергии используя формулы 2.6 и 2.7:

$$\Delta W_{X1} = 1 \cdot 21 \cdot 0,25 = 5,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{K1} = 1 \cdot 126,8 \cdot 0,79^2 \cdot 0,25 = 19,78 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Остальные расчеты проводим аналогичным образом и полученные результаты запишем в таблицу 4.

Таблица 4 - Потери электроэнергии за 1 цикл первой печи ДСП-10 после замены печного трансформатора и добавления функции предварительного подогрева лома

i	S _i , кВА	T _i , ч	W _{xi} , кВт·ч	k ₃	W _{ki} , кВт·ч
1	5834	0,15	3,15	0,73	16,89
2	7100	0,2	4,2	0,94	22,41
3	6920	0,15	3,15	0,87	14,4
4	5067	0,29	6,09	0,63	14,59
5	3815	0,21	4,41	0,48	6,14
6	3019	0,09	1,89	0,6	4,1
7	2132	0,14	2,94	0,38	2,56
8	1084	0,14	2,94	0,14	0,35
9	2433	0,14	2,94	0,3	1,6
Σ			31,71		76,29
			$\Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 108 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$		

Рассчитаем годовые потери электроэнергии по формуле 2.8:

$$\Delta W'_{\text{ЭПП1.год}} = 108 \cdot 12 \cdot 250 = 324000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее вычислим экономическую составляющую для трансформатора ЭТЦПК 12500/10:

Для начала найдем общее потребление энергии печью на цикл по формуле 2.9:

$$\begin{aligned}
 W'_{\text{ЭПП1.цикл}} &= 5834 \cdot 0,15 + 7100 \cdot 0,2 + 6920 \cdot 0,15 + 5067 \cdot 0,29 + 3815 \\
 &\quad \cdot 0,21 + 3019 \cdot 0,09 + 2132 \cdot 0,14 + 1084 \cdot 0,14 + 2433 \cdot 0,14 \cdot 0,85 \\
 &= 5489,85 \text{ кВт} \cdot \text{ч}
 \end{aligned}$$

Определим общее потребление энергии печью за год по формуле 2.10:

$$W'_{\text{ЭПП1.год}} = 5489,85 \cdot 12 \cdot 250 = 16469550 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Произведем расчет стоимости годовых потерь и потребления электроэнергии первой печи ДСП 10:

Рассчитаем стоимость потерь электроэнергии первой печи ДСП 10 по формуле 2.11:

$$И'_{\Delta 1} = 324000 \cdot 1,164 = 377136 \text{ руб}$$

Рассчитаем стоимость годового потребления электроэнергии первой печью ДСП 10 по формуле 2.12:

$$И'_{\text{ЭП1}} = 16469550 \cdot 1,164 = 19170556,2 \text{ руб}$$

3.2 Расчет потерь трансформатора ЭТЦПК 12500/10 и потребления электроэнергии второй печи ДСП-10

Выпишем необходимые для расчета параметры:

$$\Delta P_{\text{XX}} = 18 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{КЗ}} = 96,8 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{КЗ}} = 7,5 \%$$

$$I_{\text{XX}} = 0,75 \%$$

$$k_{\text{ин}} = 0,05$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

Так как печь №2 питается от такого же трансформатора, что и печь №1 значения приведенных потерь активной мощности трансформатора в режимах XX и КЗ возьмем из пункта 3.1.

Рассчитаем коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора по формуле 2.5:

$$k_{з_1} = \frac{6125}{8000} = 0,77$$

Определим потери электроэнергии используя формулы 2.6 и 2.7:

$$\Delta W_{x1} = 1 \cdot 21 \cdot 0,25 = 5,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{k1} = 1 \cdot 126,8 \cdot 0,77^2 \cdot 0,25 = 18,79 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Остальные расчеты проводим аналогичным образом и полученные результаты занесем в таблицу 5.

Таблица 5 - Потери электроэнергии за 1 цикл второй печи ДСП-10 после замены печного трансформатора и добавления функции предварительного подогрева лома.

i	S _i , кВА	T _i , ч	W _{xi} , кВт·ч	k _з	W _{ki} , кВт·ч
1	5489	0,15	3,15	0,69	15,09
2	7100	0,2	4,2	0,94	22,41
3	7153	0,15	3,15	0,89	15,07
4	5234	0,25	5,25	0,65	13,39
5	3715	0,25	5,25	0,46	6,71
6	2959	0,09	1,89	0,37	1,56
7	2217	0,14	2,94	0,28	1,39
8	1255	0,14	2,94	0,16	0,45
9	2014	0,14	2,94	0,25	1,11
Σ			31,71		100,47

Продолжение таблицы 5

			$\Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 132,18 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$
--	--	--	---

Рассчитаем суточные потери электроэнергии по формуле 2.8:

Определим значение годовых потерь электроэнергии

$$\Delta W'_{\text{ЭПП2.год}} = 132,18 \cdot 12 \cdot 250 = 396540 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее вычислим экономическую составляющую для трансформатора ЭТЦПК 12500/10

Для начала найдем общее потребление энергии печью на цикл по формуле 2.9:

$$\begin{aligned} W'_{\text{ЭПП2.цикл}} &= 5489 \cdot 0,15 + 7100 \cdot 0,2 + 7153 \cdot 0,15 + 5234 \cdot 0,25 + 3715 \\ &\cdot 0,25 + 2959 \cdot 0,09 + 2217 \cdot 0,14 + 1255 \cdot 0,14 + 2014 \cdot 0,14 \cdot 0,85 \\ &= 5599,72 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Определим общее потребление энергии печью за год по формуле 2.10:

$$W'_{\text{ЭПП2.год}} = 5599,72 \cdot 12 \cdot 250 = 16799145 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Произведем расчет стоимости годовых потерь и потребления электроэнергии первой печи ДСП-10:

Рассчитаем стоимость потерь электроэнергии первой печи ДСП-10 по формуле 2.11:

$$И'_{\Delta 2} = 396540 \cdot 1,164 = 461572,56 \text{ руб}$$

Рассчитаем стоимость годового потребления электроэнергии первой печью ДСП-10 по формуле 2.12:

$$И'_{\text{ЭП2}} = 16469550 \cdot 1,164 = 19170556,2 \text{ руб}$$

3.3 Расчет потерь трансформатора ЭТЦН 50000/35 и потребления электроэнергии печи ДСП 40

Выпишем необходимые для расчета параметры:

$$\Delta P_{\text{XX}} = 73 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{КЗ}} = 200 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{КЗ}} = 8 \%$$

$$I_{\text{XX}} = 0,5 \%$$

$$k_{\text{ин}} = 0,05$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

Найдем потери реактивной мощности в трансформаторе в режимах XX и КЗ по формулам 2.1 и 2.2:

$$Q_{\text{X}} = \frac{0,5 \cdot 32000}{100} = 160 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{К}} = \frac{8 \cdot 32000}{100} = 2560 \text{ квар}$$

Определяем приведенные потери активной мощности трансформатора в XX и КЗ режимах по следующим формулам 2.3 и 2.4:

$$P'_{\text{X}} = 73 + 0,05 \cdot 160 = 81 \text{ кВт}$$

$$P'_{\text{К}} = 200 + 0,05 \cdot 2560 = 328 \text{ кВт}$$

Определим коэффициент загрузки обмоток высшего напряжения двухобмоточного трансформатора с помощью формулы 2.5:

$$k_{з_1} = \frac{20250}{32000} = 0,63$$

Определим потери электроэнергии используя формулы 2.6 и 2.7:

$$\Delta W_{x1} = 1 \cdot 81 \cdot 0,25 = 20,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{k1} = 1 \cdot 328 \cdot 0,63^2 \cdot 0,25 = 32,55 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Остальные расчеты проводим аналогичным образом и полученные результаты запишем в таблицу 6.

Таблица 6 - Потери электроэнергии за 1 цикл печи ДСП-40 после замены печного трансформатора и добавления функции предварительного подогрева лома.

i	S _i , кВА	T _i , ч	W _{xi} , кВт·ч	k _з	W _{ki} , кВт·ч
1	25168	0,2	16,2	0,79	40,94
2	28239	0,17	13,77	0,94	49,27
3	24651	0,17	13,77	0,77	33,06
4	28245	0,25	20,25	0,95	74,01
5	25922	0,4	32,4	0,81	86,08
6	22021	0,25	20,25	0,69	39,04
7	17512	0,5	40,5	0,54	47,82
8	14066	0,17	13,77	0,44	10,8
9	11954	0,25	20,25	0,37	11,23
10	7894	0,08	6,48	0,25	1,64
11	10249	0,17	20,25	0,32	5,71
Σ			150,66		399,6
			$\Delta W_{\text{ЭПП1.цикл}} = 550,26 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$		

Рассчитаем суточные потери электроэнергии по формуле 2.8:

$$\Delta W'_{\text{ЭППЗ.год}} = 550,26 \cdot 12 \cdot 250 = 1650780 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее вычислим экономическую составляющую для трансформатора ЭТЦН 50000/35:

Для начала найдем общее потребление энергии печью на цикл по формуле 2.9:

$$\begin{aligned} W'_{\text{ЭППЗ.цикл}} = & 25168 \cdot 0,2 + 28239 \cdot 0,17 + 24651 \cdot 0,17 + 28245 \cdot 0,25 \\ & + 25922 \cdot 0,4 + 22021 \cdot 0,25 + 17512 \cdot 0,17 + 14066 \cdot 0,17 + 11954 \\ & \cdot 0,25 + 7894 \cdot 0,08 + 10249 \cdot 0,17 \cdot 0,85 = 40537,19 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Определим общее потребление энергии печью за год по формуле 2.10:

$$W'_{\text{ЭППЗ.год}} = 40537,19 \cdot 12 \cdot 250 = 121611570 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Произведем расчет стоимости годовых потерь и потребления электроэнергии печи ДСП 40:

Рассчитаем стоимость потерь электроэнергии первой печи ДСП 10 по формуле 2.11:

$$И'_{\Delta 3} = 1650780 \cdot 1,164 = 1921507,92 \text{ руб}$$

Рассчитаем стоимость годового потребления электроэнергии первой печью ДСП 10 по формуле 2.12:

$$И'_{\text{ЭПЗ}} = 121611570 \cdot 1,164 = 141555867,48 \text{ руб}$$

4 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания поможет подобрать подходящие аппараты защиты и проводники.

Так как печи питаются от сети с изолированной нейтралью, опасность представляют только двухфазные и трехфазные короткие замыкания.

4.1 Расчет токов короткого замыкания для выбранных трансформаторов первой и второй печей ДСП-10

Сперва рассчитаем значения трехфазных токов короткого замыкания

Составим расчетную схему токов короткого замыкания и эквивалентную схему замещения.

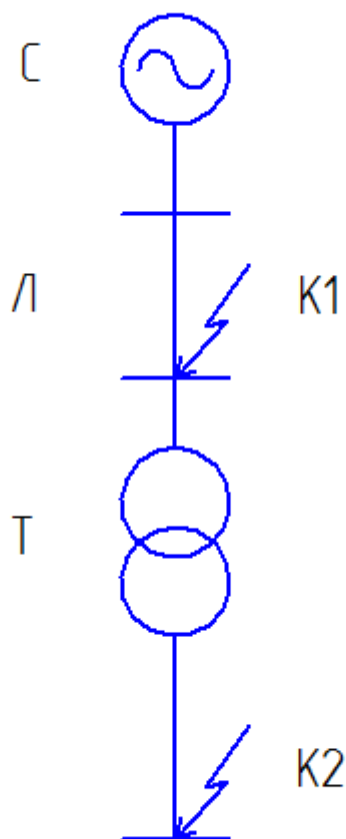


Рисунок 1 – Расчетная схема токов короткого замыкания

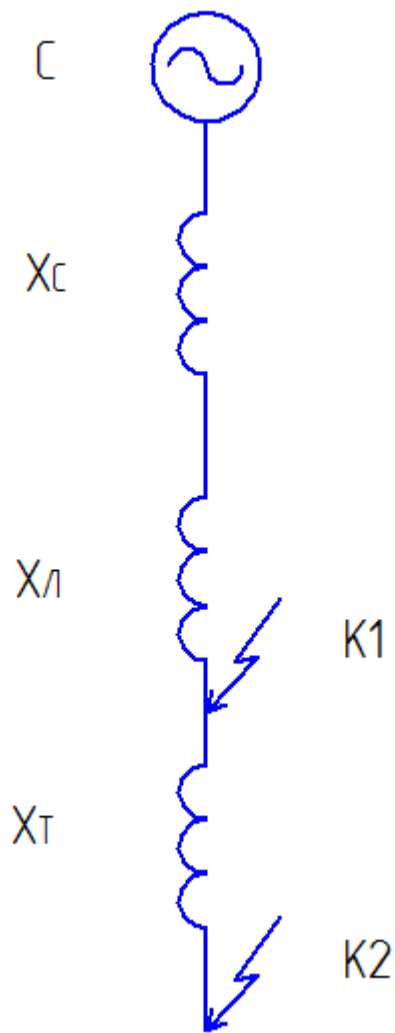


Рисунок 2 - Эквивалентную схема замещения

Далее рассчитаем все значения сопротивления элементов схемы замещения в относительных единицах, а в качестве базисных условий выберем

$$U_{\text{б}} = 10,5 \text{ кВ}, S_{\text{б}} = 100 \text{ МВА}, \text{ и } E''_{* \text{C б}} = 1$$

Найдем сопротивление системы по формуле:

$$x_{* \text{C(б)}} = \frac{U_{\text{н.ВН}}^2}{S_{\text{к}}} \quad (4.1)$$

Рассчитаем сопротивление системы:

$$x_{*C(6)} = \frac{10,5}{400} = 0,03$$

Следом определим сопротивление трансформатора по формуле:

$$x_{*T(6)} = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} \quad (4.2)$$

Рассчитаем сопротивление трансформатора:

$$x_{*T(6)} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{12,5} = 0,6$$

Также требуется найти сопротивление линии электропередач по формуле:

$$x_{*Л(6)} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} \quad (4.3)$$

Определим значение сопротивления линии электропередач:

$$x_{*Л(6)} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,18$$

Далее по следующим формулам найдем суммарное сопротивление в точках К1 и К2:

$$x_{*\Sigma 1} = x_{*C 6} + x_{*Л 6} \quad (4.4)$$

$$x_{*\Sigma 2} = x_{*C 6} + x_{*Л 6} + x_{*Т 6} \quad (4.5)$$

Рассчитаем общее сопротивление в точках К1 и К2:

$$x_{*\Sigma_{BH}} = 0,03 + 0,18 = 0,21$$

$$x_{*\Sigma_{HH}} = 0,03 + 0,18 + 0,6 = 0,78$$

Теперь, с помощью следующих формул определим базисные токи, токи короткого замыкания и ударные токи короткого замыкания в точках К1 и К2 соответственно:

$$I_{\phi} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (4.6)$$

$$I_{\Pi}^{(3)} = I_{\phi} \cdot \frac{E_{*C \phi}}{x_{\Sigma}} \quad (4.7)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{\Pi}^3 \quad (4.8)$$

Рассчитаем приведенные выше параметры:

Для точки К1:

$$I_{\phi} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa}^{(3)} = 5,5 \cdot \frac{1}{0,21} = 26,8 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 26,8 = 68,22 \text{ кА}$$

Для точки К2:

$$I_{\phi} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa}^{(3)} = 5,5 \cdot \frac{1}{0,21} = 185,05 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 185,05 = 471,05 \text{ кА}$$

Рассчитаем значение двухфазного тока короткого замыкания:

Общее сопротивление в точках к.з. при двухфазном коротком замыкании будет равняться сумме сопротивления прямой последовательности и добавочного сопротивления, которое при двухфазном коротком замыкании равняется сопротивлению обратной последовательности

Так как схема обратной последовательности аналогична схеме прямой последовательности, то:

$$x_{*\Sigma 2} = x_{*\Sigma 1} = x_{\Delta}^{(2)}$$

Рассчитаем ток короткого замыкания и ударный ток в точке К1 по формулам:

$$I_{\kappa}^{(2)} = m \cdot \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^2} \cdot I_{\phi} \quad (4.9)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa}^2 \cdot \kappa_{уд} \quad (4.10)$$

Определим значения тока короткого замыкания и ударного тока:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{0,21 + 0,21} \cdot 5,5 = 22,68 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 22,68 \cdot 1,8 = 57,73 \text{ кА}$$

Теперь по формулам 3.9 и 3.10 определим значения тока короткого замыкания и ударного тока в точке К2:

$$I_k^2 = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{0,78 + 0,78} \cdot 144,34 = 160,26 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 160,26 \cdot 1,8 = 407,95 \text{ кА}$$

4.2 Расчет токов короткого замыкания для выбранных трансформаторов печи ДСП-40

Сперва рассчитаем значения трехфазных токов короткого замыкания

Расчетная схема токов короткого замыкания и эквивалентная схема замещения будут выглядеть так же, как на рисунках 1 и 2:

Далее рассчитаем все значения сопротивления элементов схемы замещения в относительных единицах, а в качестве базисных условий выберем

$$U_6 = 37 \text{ кВ}, S_6 = 100 \text{ МВА, и } E_{*C6}'' = 1$$

Найдем сопротивление системы по формуле 4.1:

$$x_{*C(6)} = \frac{37}{1500} = 0,025$$

Следом определим сопротивление трансформатора по формуле 4.2:

$$x_{*T(6)} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{50} = 0,16$$

Также требуется найти сопротивление линии электропередач по формуле 4.3:

$$x_{*Л(6)} = 0,4 \cdot 0,55 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,016$$

Далее по формулам 4.4 и 4.5 найдем суммарное сопротивление в точках К1 и К2:

$$x_{*\Sigma_{ВН}} = 0,025 + 0,016 = 0,041$$

$$x_{*\Sigma_{НН}} = 0,025 + 0,016 + 0,16 = 0,2$$

Теперь, с помощью формул 4.6, 4.7 и 4.8 определим базисные токи, токи короткого замыкания и ударные токи короткого замыкания в точках К1 и К2 соответственно:

Для точки К1:

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

$$I_K^{(3)} = 1,56 \cdot \frac{1}{0,041} = 38,06 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 38,06 = 96,88 \text{ кА}$$

Для точки К2:

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА}$$

$$I_K^{(3)} = 144,34 \cdot \frac{1}{0,2} = 721,7 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 185,05 = 1837,15 \text{ кА}$$

Рассчитаем значение двухфазного тока короткого замыкания:

Общее сопротивление в точках к.з. при двухфазном коротком замыкании будет равняться сумме сопротивления прямой последовательности и добавочного сопротивления, которое при двухфазном коротком замыкании равняется сопротивлению обратной последовательности.

Так как схема обратной последовательности аналогична схеме прямой последовательности, то:

$$x_{*\Sigma 2} = x_{*\Sigma 1} = x_{\Delta}^{(2)}$$

Рассчитаем ток короткого замыкания и ударный ток в точке К1 по формулам 4.9 и 4.10:

$$I_k^{(2)} = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{0,041 + 0,041} \cdot 1,56 = 32,95 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 32,95 \cdot 1,8 = 83,88 \text{ кА}$$

Теперь по формулам 4.9 и 4.10 определим значения тока короткого замыкания и ударного тока в точке К2:

$$I_k^{(2)} = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{0,2 + 0,2} \cdot 144,34 = 625,01 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 625,01 \cdot 1,8 = 1591,02 \text{ кА}$$

5 Выбор средств защиты и проводников для печных трансформаторов

К предложенным на замену трансформаторам требуется также заменить средства защиты и проводники. А именно будут выбраны выключатели на для высокой стороны а также проводники от трансформатора до ГПП1.

5.1 Выбор выключателей для высокой стороны трансформатора

Рассчитаем необходимые параметры для выбора выключателей для трансформаторов первой и второй печей ДСП-10:

Найдем максимальный ток, проходящий по высокой стороне трансформатора по формуле:

$$I_{max} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (5.1)$$

Рассчитаем значение максимального тока:

$$I_{max} = \frac{12500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 721,69 \text{ A}$$

По полученным данным ($U_{ном}$, I_{max} и $I_k^{(3)}$) выбираем вакуумный выключатель ВРС – 10.

Далее рассчитаем остальные необходимые данные и сравним с параметрами выключателя на предмет его способности отключить самое серьезное короткое замыкание.

Найдем номинальное допустимое значение апериодической составляющей тока к.з. по формуле:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_k^3 \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (5.2)$$

Рассчитаем номинальное допустимое значение апериодической составляющей тока:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 26,8 \cdot e^{-\frac{0,035}{0,05}} = 18,82 \text{ кА}$$

Найдем значение термической стойкости выключателя по формуле:

$$B_k = I_k^{(3)^2} \cdot t_{\text{откл}} + T_a \quad (5.3)$$

Рассчитаем значение термической стойкости выключателя:

$$B_k = 26,8^2 \cdot 0,035 + 0,05 = 61,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Теперь занесем расчетные данные и данные выключателя в таблицу 7 для сравнения

Таблица 7 – проверка выключателя ВРС - 10

Расчетные данные	Данные выключателя
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 721,69 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_k^3 = 26,8 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} = 18,82 \text{ кА}$	$i_{a,\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\beta_n}{100} \cdot I_{\text{откл.ном}} =$ $= \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 40 = 22,62 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_k^3 + i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 26,8 + 18,82$ $= 56,72 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном}} \left(1 + \frac{\beta_n}{100} \right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 40 \left(1 + 0,4 \right) = 79,2 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}}^{(3)} = 68,22 \text{ кА}$	$i_{\text{п.р.с}} = 80 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 7

$B_k = 61,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{k.н} = I_{\text{откл.ном}}^2 \cdot t_{\text{откл}} =$ $= 40^2 \cdot 0,035 = 86,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
--	---

Таким образом выключатель по всем параметрам подходит в качестве защиты от аварийных состояний системы.

Теперь рассчитаем необходимые параметры для выбора выключателя для трансформатора печи ДСП 40:

Рассчитаем значение максимального тока по формуле 5.1:

$$I_{max} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 824,79 \text{ А}$$

По полученным данным ($U_{\text{ном}}$, I_{max} и $I_k^{(3)}$) выбираем вакуумный выключатель ВБУ – 35.

Далее рассчитаем остальные необходимые данные и сравним с параметрами выключателя на предмет его способности отключить самое серьезное короткое замыкание.

Рассчитаем номинальное допустимое значение апериодической составляющей тока по формуле 5.2:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 38,06 \cdot e^{\frac{0,06}{0,05}} = 16,21 \text{ кА}$$

Рассчитаем значение термической стойкости выключателя по формуле 5.3:

$$B_k = 38,06^2 \cdot 0,06 + 0,05 = 159,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Теперь занесем расчетные данные и данные выключателя в таблицу 8 для сравнения.

Таблица 8 – Проверка выключателя ВБУ - 35

Расчетные данные	Данные выключателя
$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 824,79 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$
$I_{\text{к}}^3 = 38,06 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 50 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} = 16,21 \text{ кА}$	$i_{a,\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \cdot I_{\text{откл.ном}} =$ $= \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 50 = 28,28 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{к}}^3 + i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 38,06 + 16,21$ $= 70,03 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном}} \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 50 \left(1 + 0,4 \right) = 98,99 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}}^{(3)} = 96,88 \text{ кА}$	$i_{\text{п.р.с}} = 120 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 159,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.н}} = I_{\text{откл.ном}}^2 \cdot t_{\text{откл}} =$ $= 50^2 \cdot 0,06 = 180 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таким образом, выключатель по всем параметрам подходит в качестве защиты от аварийных состояний системы.

5.2 Выбор проводников для линий электропередач

Выберем проводники для печей ДСП – 10

По экономической плотности тока определим подходящий проводник:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{max}}}{J_{\text{ЭК}}} \quad (5.4)$$

Рассчитаем экономическую плотность тока:

$$S_{\text{эк}} = \frac{721,69}{1} = 721,69 \text{ мм}^2$$

Выберем 3 проводника М 300.

Проверка по допустимому току осуществляется по условию:

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{max}} \quad (5.5)$$

Проверим эти проводники по допустимому току:

$$3 \cdot 880 > 721,69$$

Выберем проводники для печи ДСП – 40.

Рассчитаем экономическую плотность тока по формуле 5.4:

$$S_{\text{эк}} = \frac{824,79}{1} = 824,79 \text{ мм}^2$$

Выберем 3 проводника М 300.

Проверим эти проводники по допустимому току по формуле 5.5:

$$3 \cdot 880 > 824,79$$

Таким образом, были выбраны проводники подходящие по сечению и допустимому току, что обеспечит надежное электроснабжение

6 Технико-экономический расчет

6.1 Расчет экономии средств и энергии в случае замены трансформаторов

1) Для первой печи ДСП-10:

Найдем разницу стоимости годового энергопотребления печи до и после внедрения предварительного подогрева лома по формуле:

$$I_{\text{ЭП.Эк.}} = I_{\text{ЭП}} - I'_{\text{ЭП}} \quad (6.1)$$

Рассчитаем разницу стоимости годового энергопотребления:

$$I_{\text{ЭП1.Эк}} = 29072715,84 - 19170556,2 = 9902159,64 \text{ руб.}$$

Найдем разницу годовой стоимости потерь электрической энергии до и после замены трансформаторов по формуле:

$$I_{\Delta.\text{Эк}} = I_{\Delta} - I'_{\Delta} \quad (6.2)$$

Рассчитаем разницу годовой стоимости потерь электрической энергии между трансформаторами ЭТЦПК 7500/10 и ЭТЦПК 12500/10:

$$I_{\Delta1.\text{Эк}} = 1110456 - 377136 = 733320 \text{ руб.}$$

2) Для второй печи ДСП 10:

Рассчитаем разницу стоимости годового энергопотребления по формуле 3.1:

$$I_{\text{ЭП2.Эк}} = 28271651,04 - 19170556,2 = 9101094,84 \text{ руб.}$$

Найдем разницу годовой стоимости потерь электрической энергии между трансформаторами ЭТЦПК 7500/10 и ЭТЦПК 12500/10 по формуле 6.2:

$$И_{\Delta 2.Эк} = 1082170,8 - 461572,56 = 620598,24 \text{ руб.}$$

3) Для печи ДСП 40:

Рассчитаем разницу стоимости годового энергопотребления по формуле 6.1:

$$И_{ЭПЗ.Эк} = 200041734,24 - 141555887,48 = 58485846,76 \text{ руб.}$$

Найдем разницу годовой стоимости потерь электрической энергии между трансформаторами ЭТЦН 32000/35 и ЭТЦН 50000/35 по формуле 6.2:

$$И_{\Delta 3.Эк} = 3851606,16 - 1921507,92 = 1930098,24 \text{ руб.}$$

6.2 Расчет суммарной экономии электроэнергии и денежных средств в случае замены печных трансформаторов

Суммарную экономию электроэнергии найдем по формуле:

$$\Delta W_{Эк.сум.год} = \Delta W_{Эк.ЭПП1.год} + \Delta W_{Эк.ЭПП2.год} + \Delta W_{Эк.ЭПП3.год} \quad (6.3)$$

Рассчитаем суммарную экономию электроэнергии:

$$\Delta W_{Эк.сум.год} = 486300 + 484200 + 841919 = 1812419 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Далее это значение способствует сравнению действующего годового графика потребления электроэнергии по всему сталелитейному цеху №1 с годовым графиком потребления электроэнергии этим же цехом с условием

замены печных нынешних трансформаторов на печные трансформаторы предложенные выше. Сравнение будет отображено на втором листе формата А1.

Суммарную экономию денежных средств найдем по формуле:

$$I_{\text{Эк.сум}} = I_{\text{ЭП1.Эк}} + I_{\text{ЭП2.Эк}} + I_{\text{ЭП3.Эк}} + I_{\Delta 1.Эк} + I_{\Delta 2.Эк} + I_{\Delta 3.Эк} \quad (6.4)$$

Рассчитаем суммарную экономию денежных средств:

$$I_{\text{Эк.сум}} = 9902159,64 + 9101094,84 + 58485846,76 + 733320 + 620598,24 + 1930098,24 = 80773117,72 \text{ руб.}$$

6.3 Расчет срока окупаемости мероприятий

Для расчета срока окупаемости замены печных трансформаторов были изучены на предмет стоимости трансформаторов ЭТЦПК 12500/10 и ЭТЦН 50000/35 открытые источники в сети интернет, но, так как на большинстве сайтов цена трансформаторов не указана, использоваться в дальнейших расчетах будут примерные значения цен трансформаторов.

Так же примерно будут выбраны стоимости дополнительных резервуаров для предварительного подогрева лома для двух ДСП 10 и одной ДСП 40.

Обязательно будут учтены и затраты выключатели и проводники.

Примем стоимость трансформатора ЭТЦПК 12500/10 равной 8 млн руб., а стоимость ЭТЦН – 20 млн руб.

Найдем общую величину затрат на покупку печных трансформаторов по формуле:

$$F_{\text{Т.сум}} = F_{\text{Т1}} + F_{\text{Т2}} + F_{\text{Т3}} \quad (6.5)$$

Где $F_{\text{т.сум}}$ – общая стоимость трансформаторов предполагаемых на замену, $F_{\text{т1}}$ – стоимость трансформатора ЭТЦПК 12500/10 для первой печи ДСП 10, $F_{\text{т2}}$ – стоимость трансформатора ЭТЦПК 12500/10 для второй печи ДСП 10 и $F_{\text{т3}}$ – стоимость трансформатора ЭТЦН 50000/35 для печи ДСП 40

Рассчитаем общую величину затрат на покупку печных трансформаторов:

$$F_{\text{т.сум}} = 8000000 + 8000000 + 20000000 = 36000000 \text{ руб.}$$

Далее определим общую величину затрат на резервуары для предварительного подогрева лома по формуле:

$$F_{\text{в.сум}} = F_{\text{в1}} + F_{\text{в2}} + F_{\text{в3}} \quad (6.6)$$

По данным из сети интернет стоимость ВРС-10 $F_{\text{в1}} = F_{\text{в2}} = 83$ тыс. руб, а ВБУ-35 – 160 тыс. руб.

Найдем суммарную стоимость выключателей:

$$F_{\text{в.сум}} = 83000 + 83000 + 160000 = 326000 \text{ руб}$$

Определим общую величину затрат на проводники по формуле:

$$F_{\text{п.сум}} = F_{\text{п1}} + F_{\text{п2}} + F_{\text{п3}} \quad (6.7)$$

В процессе поиска в открытых источниках сети интернет оказалось, что стоимость проводника М 300 равняется 311,9 руб./м, а это значит, что $F_{\text{п1}} = F_{\text{п1}} = 155950$ руб и $F_{\text{п3}} = 171545$ руб.

Следовательно, суммарные затраты на проводники составят:

$$F_{п.сум} = 155950 + 155950 + 171545 = 483445 \text{ руб.}$$

Теперь рассчитаем суммарные приблизительные затраты на резервуары для предварительного подогрева лома по формуле:

$$F_{р.сум} = F_{р1} + F_{р2} + F_{р3} \quad (6.8)$$

По данным из сети интернет приблизительная стоимость резервуаров для печей ДСП - 10 $F_{р1} = F_{р1} = 7800000$ руб., а для ДСП - 40 – 30000000 руб.

Найдем суммарные приблизительные затраты на резервуары для предварительного подогрева лома:

$$F_{р.сум} = 7800000 + 7800000 + 30000000 = 45600000 \text{ руб.}$$

Итоговую стоимость затрат определим по формуле:

$$F_{сум} = F_{т.сум} + F_{в.сум} + F_{п.сум} + F_{р.сум} \quad (6.9)$$

Найдем итоговую стоимость затрат:

$$F_{сум} = 36000000 + 326000 + 483445 + 45600000 = 82409445 \text{ руб.}$$

Далее определим срок окупаемости данного мероприятия по формуле:

$$N_{лет} = \frac{F_{сум}}{И_{эк.сум}} \quad (6.10)$$

Рассчитаем срок окупаемости мероприятия:

$$N_{\text{лет}} = \frac{82409445}{80773117,72} = 1,02$$

Другими словами, срок окупаемости данного мероприятия равен немногим более одного года, что доказывает рациональность вышеописанных модернизаций.

Заключение

Бакалаврская работа, изложенная в пояснительной записке и графической части, преследовала цель повышения энергоэффективности сталелитейного производства цеха №1 на предприятии ОАО «Волгоцеммаш».

В процессе выполнения данной работы были определены активные и реактивные потери в режимах короткого замыкания и холостого тока в печных трансформаторах ЭТЦПК 7500/10 и ЭТЦН 32000/35, которые питают две печи ДСП 10 и одну печь ДСП 40 соответственно. Также были рассчитаны коэффициент загрузки трансформатора и потери электроэнергии в режимах короткого замыкания и холостого хода для каждого трансформатора и каждого значения мощности. Все рассчитанные значения были занесены в таблицы 1, 2 и 3 и использованы для расчета суммарных потерь электроэнергии в каждом трансформаторе. Далее была рассчитана стоимость этих потерь для каждого трансформатора за год. В итоге этих расчетов получилось:

$$I_{\Delta 1} = 1110456 \text{ руб.}$$

$$I_{\Delta 2} = 1082170,8 \text{ руб.}$$

$$I_{\Delta 3} = 3851606,16 \text{ руб.}$$

Дополнительно было рассчитано энергопотребление каждой печи и его стоимость за год. В результате расчетов стоимости энергопотребления получились следующие значения:

$$I_{\text{ЭП1}} = 29072715,84 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ЭП2}} = 28271651,04 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ЭП3}} = 200041734,24 \text{ руб.}$$

После, по условию для однотрансформаторных подстанций $S_{\text{т.ном}} \geq S_{\text{max}}/0,9$, на замену прежним трансформаторам, были выбраны два ЭТЦПК 12500/10 и ЭТЦН 50000/35. Для этих трансформаторов, также как и для ныне действующих, были рассчитаны потери электроэнергии в режимах короткого замыкания и холостого хода и коэффициент загрузки, которые были занесены в таблицы 4, 5 и 6. Также были рассчитаны суммарные потери и потребление электроэнергии с учетом внедрения системы предварительного подогрева лома.

Следом, была рассчитана стоимость потерь для каждого предложенного трансформатора. В результате расчетов вышло, что:

$$И'_{\Delta 1} = 377136 \text{ руб.}$$

$$И'_{\Delta 2} = 461572,56 \text{ руб.}$$

$$И'_{\Delta 3} = 141555887,48 \text{ руб.}$$

Также, была рассчитана стоимость потребления электроэнергии за год с учетом модернизации.

$$И'_{\text{ЭП1}} = 19170556,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$И'_{\text{ЭП2}} = 19170556,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$И'_{\text{ЭП3}} = 141555887,48 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

что значительно меньше, чем потери электроэнергии и их стоимость при действующих трансформаторах.

Далее был проведен расчет токов короткого замыкания. Эти расчеты поспособствовали выбору вакуумных выключателей ВРС-10 и ВБУ-35 для высоких сторон печных трансформаторов двух ДСП-10 и одной ДСП-40 соответственно. Также были выбраны 3 провода М 300 для подведения электроэнергии от ГПП1 до печей. При проверке выбранного оборудования выяснилось, что в случае аварии оно не выйдет из строя и надежно сработает.

В следующем пункте была рассчитана суммарная экономия на уменьшении энергопотребления и потерь электрической энергии ввиду модернизации. В итоге расчетов получилось:

$$И_{\text{Эк.сум}} = 82409445 \text{ руб.}$$

Далее, при помощи этого значения и поиска в открытых источниках в сети интернет на предмет стоимости выбранного оборудования на замену был рассчитан примерный срок окупаемости, который составил немногим более 1 года.

Список используемых источников

1. Сибикин М. Ю. Технология энергосбережения. М.: Форум, 2017. 352 с.
2. Можаяева С. В. Экономика энергетического производства : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. «Экономика и управление на предприятии электроэнергетики». СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2015. 267 с.
3. Степкина Ю. В., Салтыков В. М. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учебно – методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2016. 124 с.
4. Деревянко А.Ю. Правила устройства электроустановок. СПб: ДЕАН, 2015. 704 с.
5. Ершов А. М. Внешнее и внутреннее электроснабжение промышленных предприятий. Челябинск: ЧГТУ, 2016. 88 с.
6. Коробов Г. В., Картавец В. В. Электроснабжение: учебное пособие для курсового проектирования. СПб.: Лань, 2015. 191 с.
7. Сибикин Ю.Д. Основы электроснабжения объектов: учебное пособие. М.: Энергия, 2014. 328 с.
8. Кудрин Б. И. Электроснабжение. М.: Академия, 2015. 351 с.
9. Герасимов А.И., Кузьмин С.В. Проектирование электроснабжения цехов промышленных предприятий. Красноярск: СФУ, 2015. 304 с.
10. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2016. 106 с.
11. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2015. 136 с.
12. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений: учебное пособие. М.: Кнорус, 2015. 233 с.
13. Jovanovic P. Risk management of energy efficiency projects in the industry – sample plant for injecting pulverized coal into the blast furnaces // Thermal

Science. 2016. P. 315 – 325.

14. Lakota B. Backup power supply system analysis// Advances in Electrical and Electronic Engineering. 2015. P. 115-119.

15. Garcia-Segura, R. Electric Arc Furnace Modeling with Artificial Neural Networks and Arc Length with Variable Voltage Gradient // Energies. 2017. P. 1424.

16. Durna E. Suppression of the Second Harmonic Subgroup Injected by an AC EAF: Design Considerations and Performance Estimation of a Shunt APF // Electronics. 2018. P. 53.

17. Esfandiari G. Comprehensive design of a 100 kW/400 V high performance AC-DC converter // Advances in Electrical and Electronic Engineering. 2015. P. 417 – 429.

18. Коробов Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование. СПб.: Лань, 2015. 192 с.

19. Кудрин Б. И. электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ, 2015. 412 с.

20. Рождевина А. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М.: КноРус, 2015. 368 с.

Приложение А

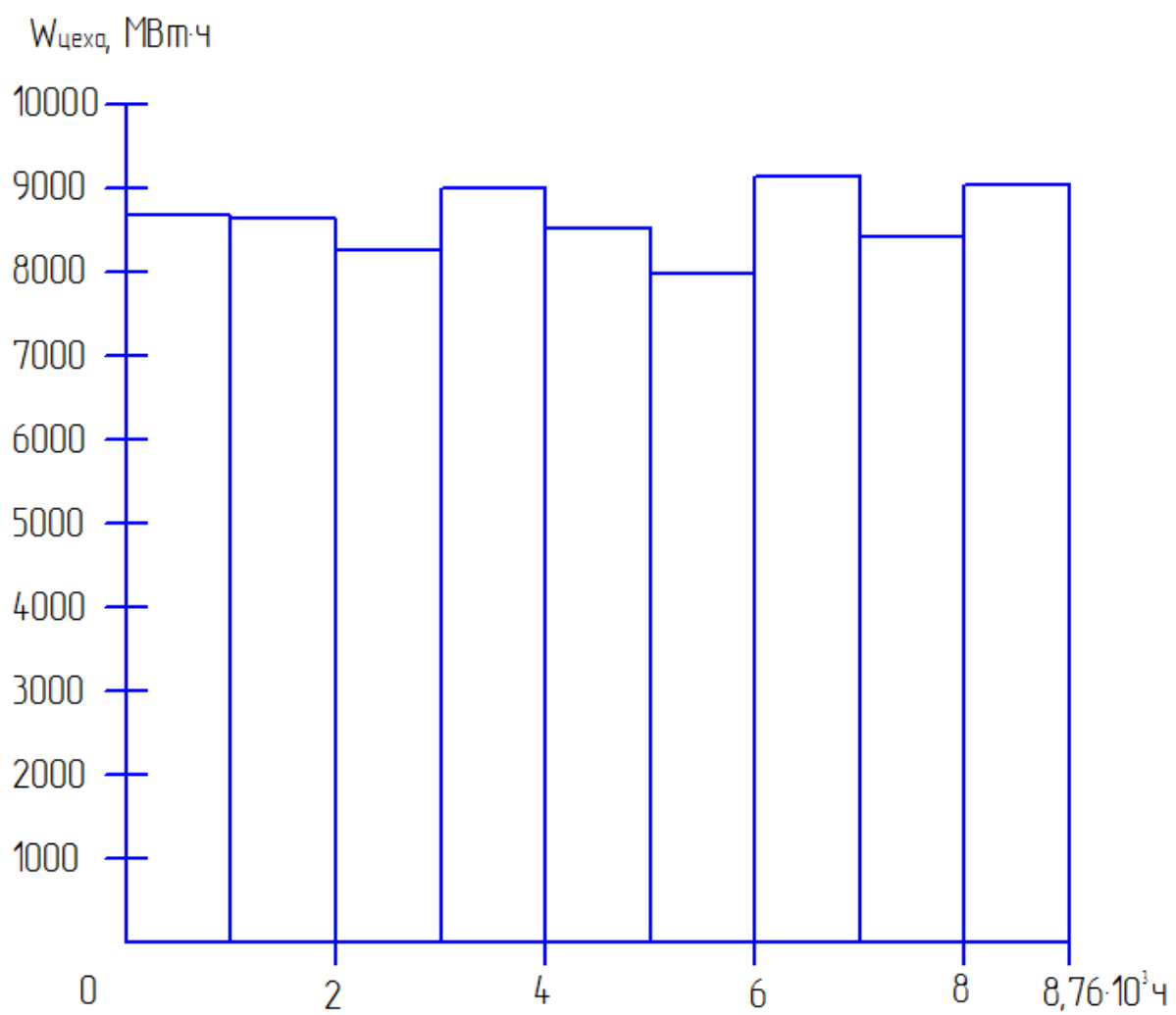


Рисунок А.1 – График годового потребления электроэнергии сталеплавильного цеха

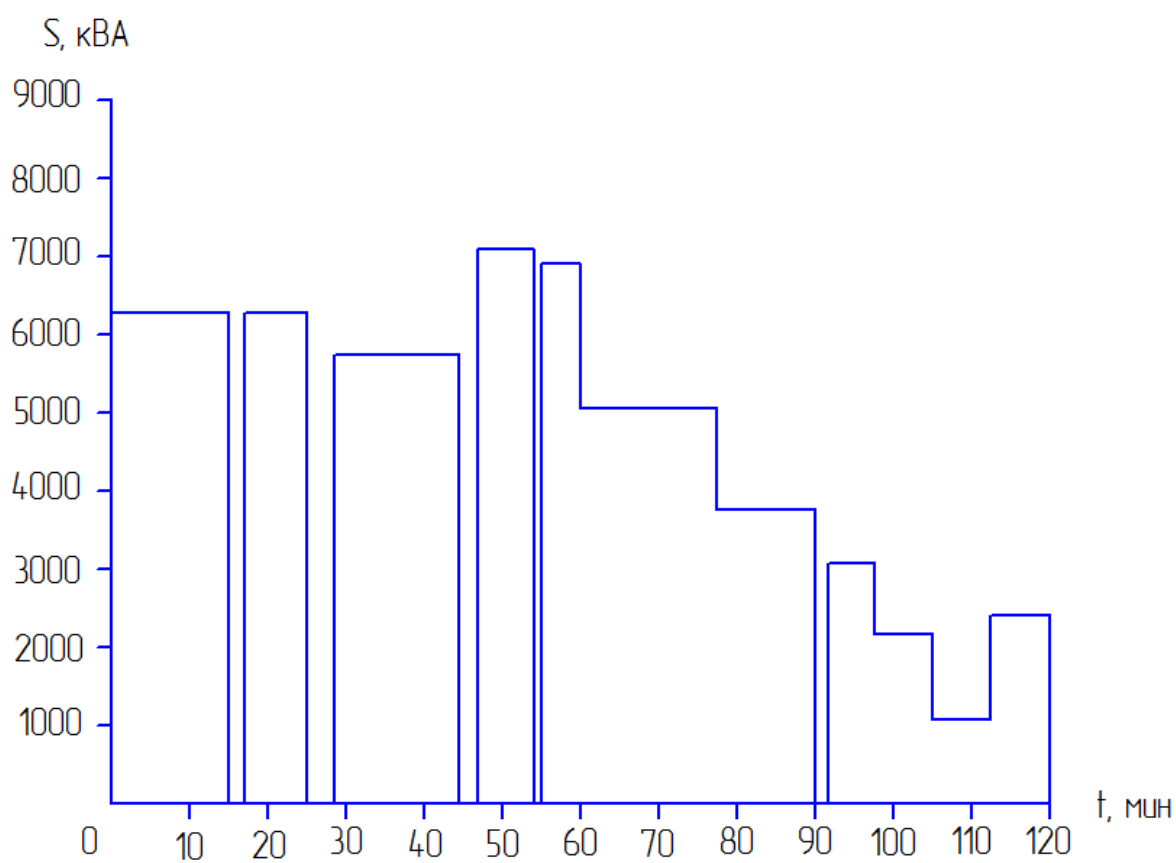


Рисунок А.2 – График нагрузки трансформатора ЭТЦПК 7500/10, питающего первую печь ДСП - 10

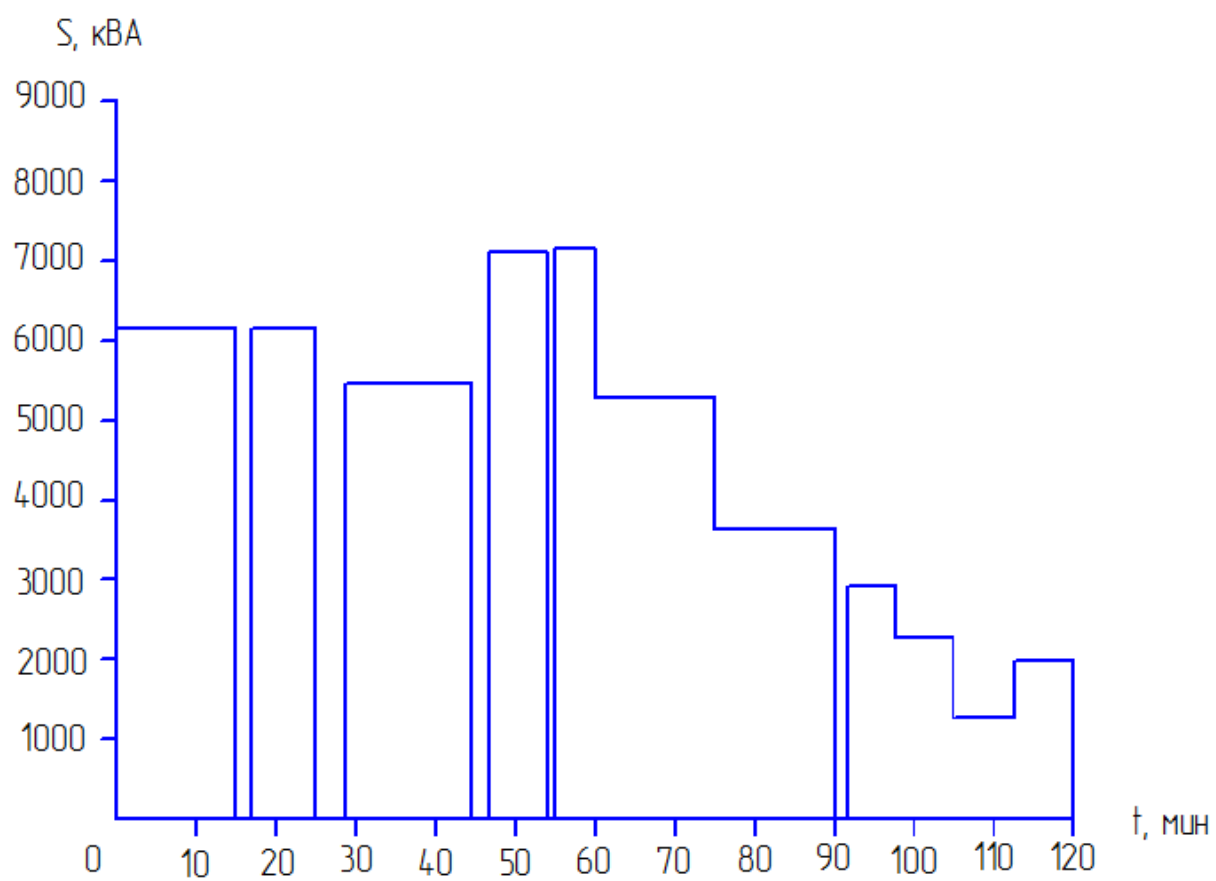


Рисунок А.3 - График нагрузки трансформатора ЭТЦПК 7500/10, питающего вторую печь ДСП - 10

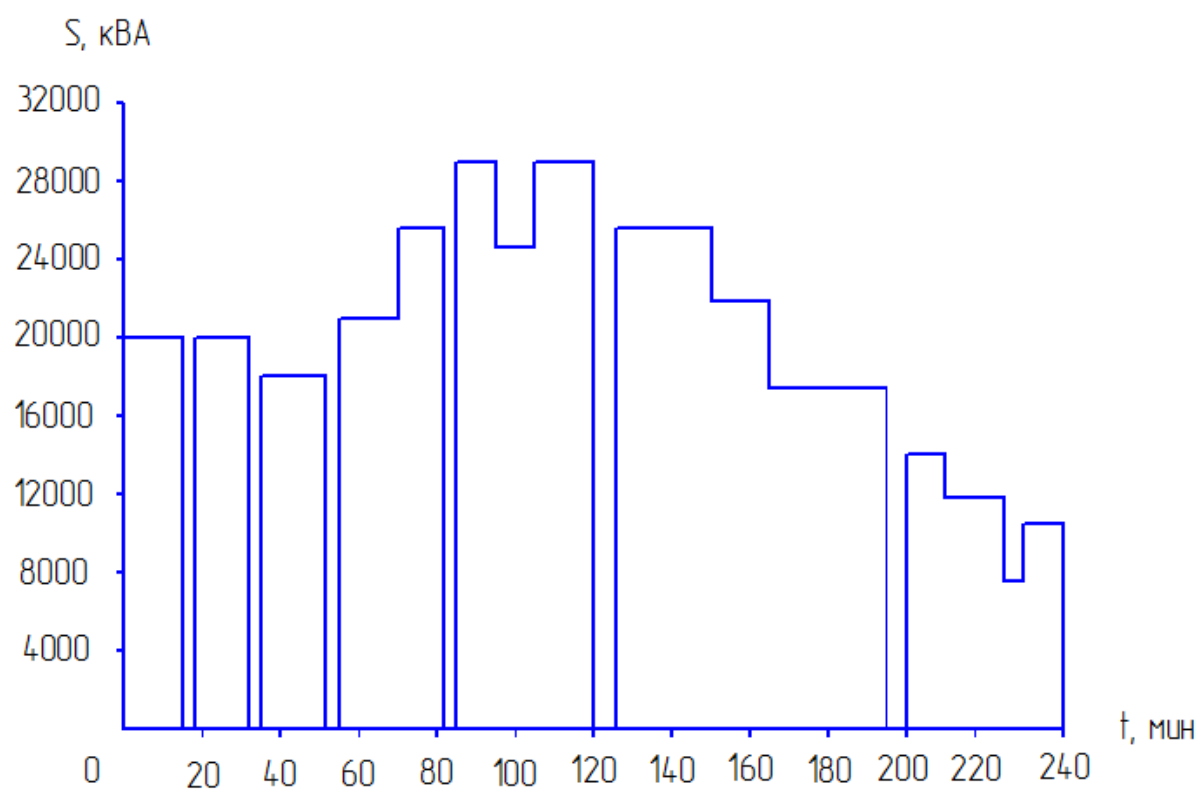


Рисунок А.4 - График нагрузки трансформатора ЭТЦН 32000/35, питающего печь ДСП – 40

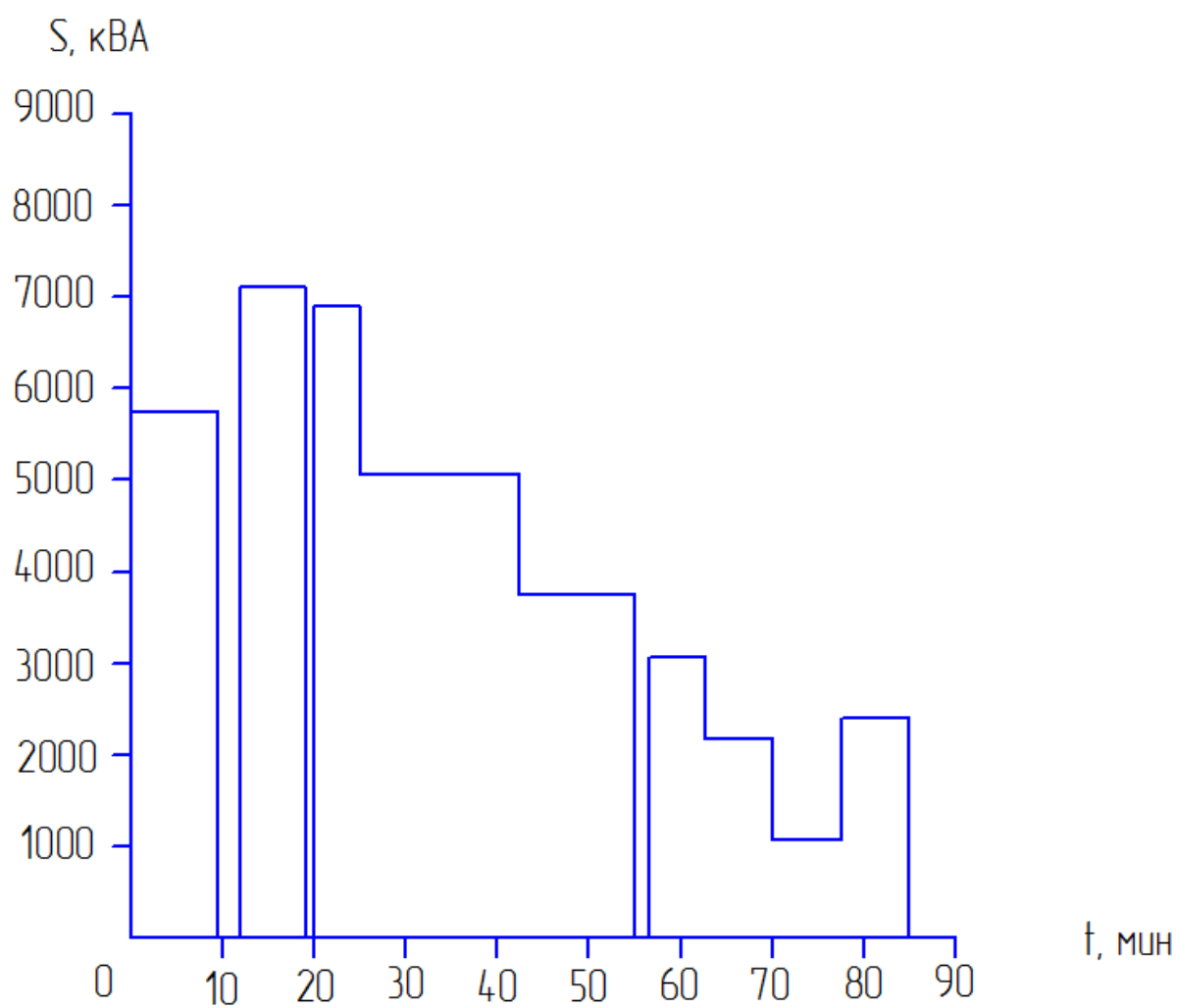


Рисунок А.5 – График нагрузки трансформатора ЭТЦПК 12500/10, питающего первую печь ДСП – 10 после внедрения системы предварительного подогрева лома

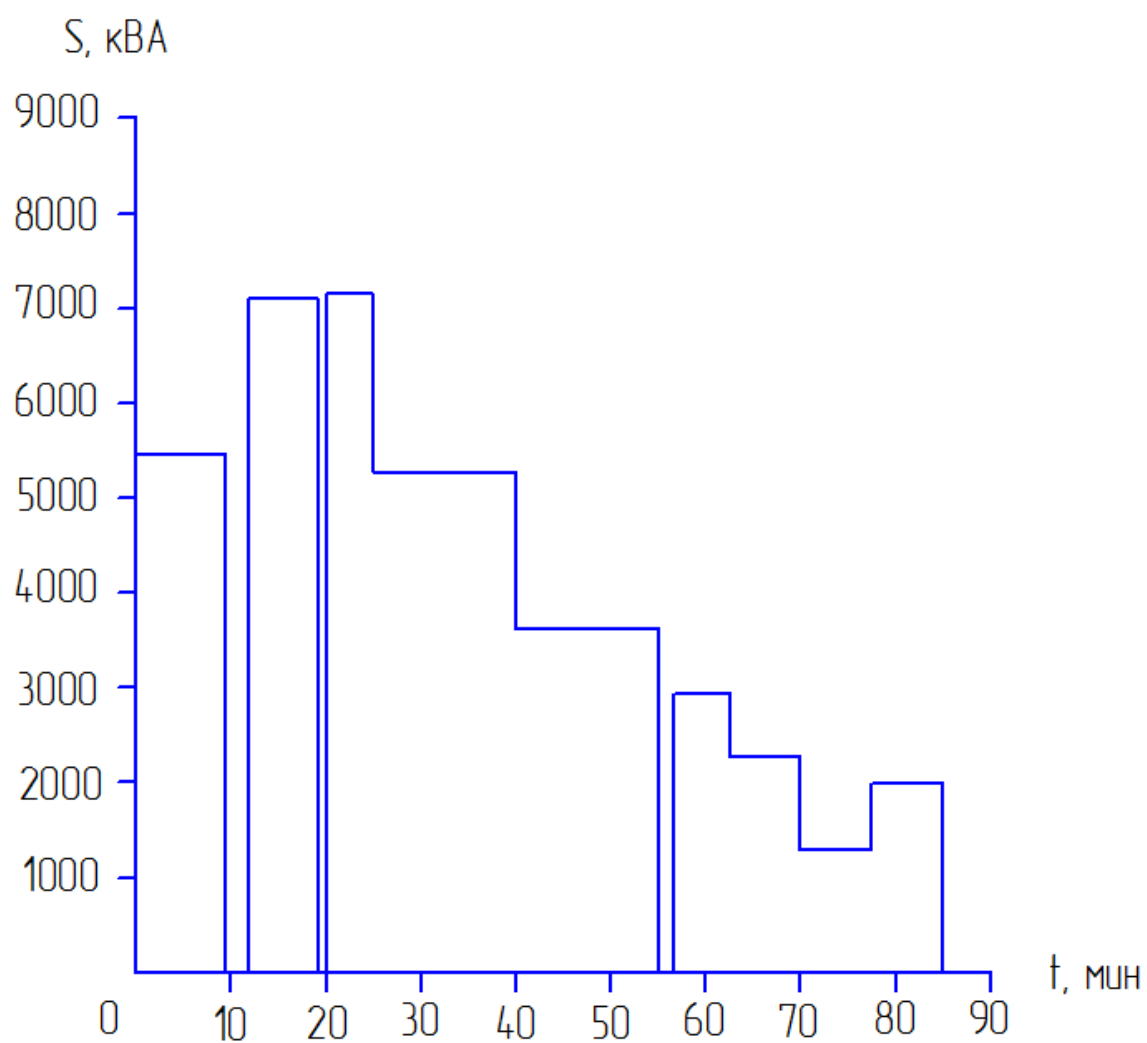


Рисунок А.6 – График нагрузки трансформатора ЭТЦПК 12500/10, питающего вторую печь ДСП – 10 после внедрения системы предварительного подогрева лома

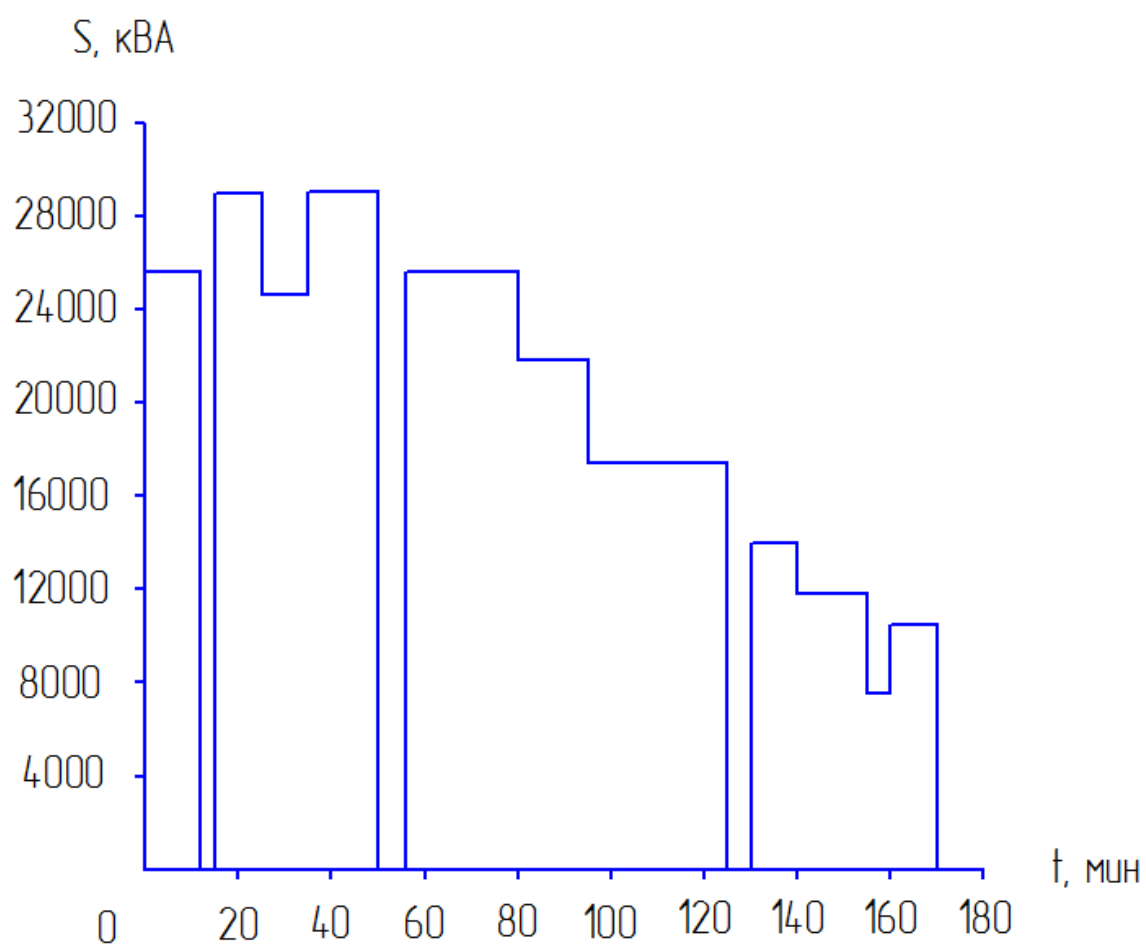


Рисунок А.7 – График нагрузки трансформатора ЭТЦН 50000/35, питающего печь ДСП – 40 после внедрения системы предварительного подогрева лома