

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Повышение энергоэффективности системы электроснабжения завода
металлоконструкций

Обучающийся

Р.Р. Гарифуллин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н. В. И. Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Содержание

Введение.....	3
1 Общая характеристика завода металлоконструкций и оценка эффективности его системы электроснабжения	7
1.1 Анализ нормативно-правовой базы	7
1.2 Характеристика объекта исследования.....	8
1.3 Анализ энергопотребления завода металлоконструкций	15
2 Обоснование направлений повышения энергетической эффективности на металлургическом предприятии	28
2.1 Повышение энергоэффективности работы электродвигателей	28
2.2 Снижение потерь при обработке металлоконструкций	31
3 Техничко-экономический расчет.....	40
3.1 Анализ повышения энергоэффективности завода от внедрения новых типов электродвигателей.....	40
3.2 Анализ повышения энергоэффективности завода в результате модернизации дуговых печей	55
Заключение	66
Список используемых источников.....	68

Введение

Увеличение энергетической эффективности объектов промышленности является одним из наиболее приоритетных направлений нашего государства.

Поэтому Правительством РФ утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации распоряжением от 09.06.2020 № 1523-р на период до 2035 года. В данной стратегии предусмотрено: «повышение эффективности, надежности, доступности и качества удовлетворения внутреннего спроса на все энергоресурсы, технологии и услуги в сфере энергетики» [23].

Несмотря на снижение энергоемкости экономики, в РФ имеется значительный потенциал энергосбережения:

«Энергоемкость экономики Российской Федерации с 2008 года по 2018 год снизилась на 9,3 процента (с 10,8 до 9,8 т у.т./млн. рублей валового внутреннего продукта в ценах 2016 года). Основными факторами, которые обеспечили снижение энергоемкости, стали технологический фактор (рост энергоэффективности энергопотребляющего оборудования) и уровень загрузки производственных мощностей.

В Российской Федерации имеется потенциал энергосбережения, достигающий третьей части текущего энергопотребления, и существуют возможности значительного повышения экономической эффективности проектов в сфере энергетики. Уровни энергоемкости производства важнейших отечественных промышленных продуктов выше (хуже) среднемировых в 1,2 - 2 раза, а по отношению к лучшим мировым практикам - в 1,5 - 4 раза.

По сравнению с 2008 годом достигнуто снижение энергоемкости в отраслях топливно-энергетического комплекса - коэффициент полезного использования попутного нефтяного газа увеличился на 9,2 процентных пункта и достиг 85,1 процента, удельный расход топлива на отпуск электрической энергии на тепловых электростанциях снизился на 7,8 процента и составил 309,8 г у.т./кВт·ч, потери электрической энергии в электрических сетях снизились с 13 процентов до 10,6 процента» [11, 15]

Что касается промышленных предприятий, энергосбережение помогает повысить эффективность деятельности предприятия благодаря следующим факторам:

- уменьшение энергозатрат, что приводит к снижению себестоимости производства и как следствие приводит к повышению конкурентоспособности;
- реконструкция энергооборудования, поскольку более современное оборудование способно себя окупить более низким энергопотреблением;
- повышение уровня экологической обстановки в районах расположения промышленных предприятий.

Одним из наиболее энергоемких направлений промышленности является производство металлоконструкций.

Металлоконструкции применяются во многих отраслях. Но главным образом они нашли свое применение в строительстве.

Металлоконструкции нашли свое применение в промышленном и гражданском строительстве, при возведении объектов сельского хозяйства, в строительстве административно-офисных зданий, жилых и общественных зданий, складских и торговых помещений, архитектурных построек и многих других объектов строительства. Металлоконструкции при возведении строительных объектов обладают рядом преимуществ относительно других материалов: надежность эксплуатации, транспортабельность, легкость и быстрота монтажных и демонтажных работ, устойчивость к растяжению (особенно в сравнении с бетонными изделиями).

Помимо строительства, металлоконструкции применяются в сфере транспорта, используются в технологическом оборудовании, промышленных установках, прокладке различного рода инженерных коммуникаций.

Исходя из этого, чтобы удовлетворить потребность в использовании металлоконструкций, необходимо строительство новых заводов и предприятий, которые будут обладать необходимыми показателями

энергоэффективности. Но помимо строительства новых заводов и предприятий по производству металлоконструкций, необходима также реконструкция и модернизация существующих с целью повышения энергетической эффективности.

Актуальность исследования обусловлена тем, что производство металлоконструкций является достаточно крупной промышленной отраслью РФ, которая обладает определенным темпом роста, а потенциал повышения энергетической эффективности достаточно высок.

В соответствии с этим сформулирована следующая тема магистерской диссертации: «повышение энергоэффективности системы электроснабжения завода металлоконструкций».

Объектом исследования является завод металлоконструкций. На основании исследования объекта магистерской диссертации будут сформулированы мероприятия, которые позволят повысить энергетическую эффективность рассматриваемого промышленного объекта.

Целью магистерской диссертации является повышение энергетической эффективности системы электроснабжения завода металлоконструкций.

Препятствовать достижению поставленной цели будет следующий ряд проблем:

- недостаток информации и ограниченность знаний относительно современных энергоэффективных решений;
- нехватка контрольно-измерительных решений для повышения энергетической эффективности;
- нежелание брать ответственность за внедрение проектов по повышению энергетической эффективности, а также отсутствие опыта в принятии решений при их реализации;
- отсутствие финансирования, длительный период окупаемости проектов по повышению энергетической эффективности.

Помимо вышеперечисленных проблем, необходимо, чтобы инженерно-технический персонал имел соответствующую мотивацию по внедрению

данных проектов, а также умел быстро адаптироваться к изменениям в законодательстве и нормативно-технической документации.

Поэтому для достижения энергетической эффективности любого объекта необходимо проведение организационных, технологических, а также экономических мероприятий.

В соответствии с этим сформулируем следующие задачи для достижения поставленной цели:

- анализ состояния существующего завода металлоконструкций;
- анализ существующих решений по повышению энергетической эффективности объектов промышленного назначения;
- технико-экономическое обоснование предлагаемых решений.

Наиболее эффективным способом анализа энергоэффективности объекта являются энергетические обследования. Они позволяют определить мероприятия необходимые для повышения энергоэффективности.

Научная новизна диссертации заключается в том, что существующие технологии и мероприятия, используемые на объектах промышленного назначения применены для повышения энергетической эффективности объекта исследования.

В качестве теоретической и методологической основы исследования будут использованы фундаментальные и прикладные исследования ученых, нормативно-техническая документация. В процессе исследования будет использован метод системного подхода (теоретический) и экспериментальный метод (практический).

1 Общая характеристика завода металлоконструкций и оценка эффективности его системы электроснабжения

1.1 Анализ нормативно-правовой базы

Безусловно, повышение энергоэффективности различных отраслей РФ не будет происходить без использования различного рода законодательной и нормативно-правовой базы.

«Федеральные законы в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности действуют в нашей стране уже более 20 лет» [24].

«Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений должны включать в себя:

- показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;
- требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;
- требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в зданиях, строениях, сооружениях устройствам и технологиям, а также требования к включаемым в проектную документацию и применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материалам, позволяющие исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий, строений, сооружений, так и в процессе их эксплуатации» [25].

Но несмотря на внедрение 261-ФЗ, проблема энергосбережения в промышленности все равно остается открытой. Основные усилия

затрачиваются на повышения энергетической эффективности жилищной и общественной сферы. Во многих новостройках устанавливаются поквартирные приборы учета тепла, хотя сфера ЖКХ не является основной сферой потребления электрической и тепловой энергии.

Безусловно, промышленные предприятия являются очень крупной сферой потребления энергоресурсов, если не самой крупной. Но вопросу энергосбережения промышленных предприятий не уделяется должного внимания, также по причине того, что данный вопрос остается на решении у профильных органов управления. Необходимость проведения энергоаудита определяют для себя отдельно взятые промышленные предприятия, при этом результаты внедрения мероприятий по повышению энергосбережения и энергоэффективности остаются конфиденциальными [18].

Следует добавить, что помимо законов и нормативно-правовых актов, основанием для повышения энергетической эффективности зданий, строений и сооружения также являются своды правил (СП), а также строительные нормы и правила (СНиП) [20,21].

Что касается рассматриваемого металлургического предприятия, требования к энергетической эффективности не пересматривались более 5 лет, поэтому необходимо провести анализ потребления здания, определить удельные нагрузки, рассчитать актуальные электрические нагрузки, чтобы выделить необходимые мероприятия для снижения потерь тепловой и электрической энергии.

1.2 Характеристика объекта исследования

Объект исследования включает в себя следующие потребители и электроустановки:

- кислородные станции;
- склад химических реактивов;
- насосные станции;

- склады готовой продукции (металлоконструкций);
- склады прочего назначения;
- компрессорные станции;
- малярнопокрасочные цеха;
- сборосварочные цеха;
- заготовительные цеха;
- гаражи;
- кузнечнопрессовые цеха;
- тепловые пункты;
- заводоуправление;
- склад ремонтно-механического цеха (РМЦ).

Завод металлоконструкций включает в себя множество потребителей, потребление электроэнергии и тепловой энергии которых необходимо проанализировать.

Рассчитаем электрические нагрузки завода металлоконструкций методом расчетных коэффициентов.

««Все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми $K_{И}$ и $tg\phi$. В каждой строке указываются ЭП одинаковой мощности» [17].

«При наличии в справочных материалах интервальных значений $k_{И}$ следует для расчета принимать наибольшее значение. Значения $k_{И}$ должны быть определены из условия, что вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для характерной категории ЭП должна быть не более 0,05» [17].

«Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т. е. с разными $k_{И}$), средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_{И} = \frac{\sum K_{И} \cdot P_{И}}{\sum P_{И}} \quad (1)$$

где n – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу» [17].

Эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_{\text{Н}})^2}{\sum n p_{\text{Н}}^2} \quad (2)$$

Найденное эффективное число электроприемников округлим до ближайшего меньшего целого числа [25].

Далее определяем коэффициент расчетной нагрузки (таблица 1).

«В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяется коэффициент расчетной нагрузки $K_{\text{Р}}$ » [17]. Коэффициент расчетной мощности позволяет найти активную расчетную мощность.

«Расчетная активная мощность:

$$P_{\text{Р}} = K_{\text{Р}} \sum K_{\text{И}} P_{\text{Н}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{Р}}$ – коэффициент расчетной мощности;

$K_{\text{И}}$ – коэффициент использования;

$P_{\text{Н}}$ – номинальная мощность, кВт» [17].

«По полученному для каждой группы электроприемников значению $P_{\text{Р}}$ определяется реактивная нагрузка:

$$Q_{\text{Р}} = P_{\text{Р}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (4)$$

где $\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [17].

Таблица 1 – Расчет нагрузок по заводу в целом для нагрузок до 1кВ (форма Ф636-92)

Наименование ЭП	n	Номинальная мощность, кВт		$K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Расчетные величины			$n_{э}$	$K_{р}$	Расчетная мощность			Расчетный ток $I_{р}$, А
		$P_{н}$	$P_{н} = n \cdot p_{н}$				$K_{и} \cdot P_{н}$	$K_{и} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg}\varphi$, кВар	$n \cdot p_{н}^2$, кВт			$P_{р}$, кВт	$Q_{р}$, кВар	$S_{р}$, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кислородная станция	20	–	94	0,66	0,67	1,12	62,00	69,44	757,00	11	1,00	62,00	69,44	93,09	141
Генератор кислорода	4	3	12	0,50	0,90	0,48	6,00	2,88	36,00	–	–	–	–	–	–
Осушитель сжатого воздуха	5	2	10	0,50	0,80	0,75	5,00	3,75	20,00	–	–	–	–	–	–
Воздушный компрессор	7	10	70	0,70	0,60	1,33	49,00	65,17	700,00	–	–	–	–	–	–
Система контроля и автоматика	4	0,5	2	1,00	0,90	0,48	2,00	0,96	1,00	–	–	–	–	–	–
Насосная станция	49	–	597	0,67	0,76	0,87	397,25	345,61	9126,00	39	1,00	397,25	345,61	526,55	800
Насосы и приводные силовые агрегаты	20	15	300	0,80	0,90	0,48	240,00	115,20	4500,00	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Сорорудерживающее оборудование	5	6	30	0,50	0,60	1,33	15,00	19,95	180,00	–	–	–	–	–	–
Подъемно-транспортный механизм	10	20	200	0,50	0,60	1,33	100,00	133,00	4000,00	–	–	–	–	–	–
Автоматика	4	0,5	2	1,00	0,95	0,33	2,00	0,66	1,00	–	–	–	–	–	–
Дренажно-осушительная установка	5	8	40	0,60	0,60	1,33	24,00	31,92	320,00	–	–	–	–	–	–
Пневмоустановка	5	5	25	0,65	0,70	1,02	16,25	16,58	125,00	–	–	–	–	–	–
Компрессорная станция	35	–	593,5	0,64	0,72	0,95	380,90	361,86	14752,75	24	1,00	380,90	361,86	525,38	798
Компрессор	15	30	450	0,60	0,70	1,02	270,00	275,40	13500	–	–	–	–	–	–
Осушитель	10	10	100	0,80	0,80	0,75	80,00	60,00	1000,00	–	–	–	–	–	–
Ресивер	7	6	42	0,70	0,80	0,75	29,40	22,05	252,00	–	–	–	–	–	–
Система автоматики	3	0,5	1,5	1,00	0,95	0,33	1,50	0,50	0,75	–	–	–	–	–	–
Маляропокрасочный цех	105	–	900	0,72	0,74	0,91	649,00	590,59	8720,00	93	1,00	649,00	590,59	877,50	1333

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ИК-излучатель	5	20	100	0,40	0,90	0,48	40,00	19,20	2000,00	–	–	–	–	–	–
Краскораспылитель	20	5	100	0,90	0,80	0,75	90,00	67,50	500,00	–	–	–	–	–	–
Покрасочно-сушильная камера	20	10	200	0,70	0,75	0,88	140,00	123,20	2000,00	–	–	–	–	–	–
Шлифовальный пневмоинструмент	20	7	140	0,65	0,80	0,75	91,00	68,25	980,00	–	–	–	–	–	–
Аппарат пылеудаления	40	9	360	0,80	0,65	1,17	288,00	336,96	3240,00	–	–	–	–	–	–
Сборосварочные цеха	80		4200	0,27	0,44	2,02	1140,00	2302,80	222000,00	79	1,00	1140,00	2302,80	2569,53	3904,00
Электрические печи	60	50	3000	0,30	0,50	1,73	900,00	1557	150000	–	–	–	–	–	–
Сварочная установка	20	60	1200	0,20	0,30	3,18	240,00	763,20	72000	–	–	–	–	–	–
Заготовительные цеха	80	–	1040	0,56	0,67	1,11	584,00	648,24	13920	78	1,00	584,00	648,24	872,51	1326
Ленточная пила	20	10	200	0,50	0,70	1,02	100,00	102,00	2000,00	–	–	–	–	–	–
Вальцовка листового металла	20	12	240	0,40	0,85	0,62	96,00	59,52	2880,00	–	–	–	–	–	–
Установка плазменной резки	20	16	320	0,60	0,40	2,29	192,00	439,68	5120,00	–	–	–	–	–	–
Гильотина	20	14	280	0,70	0,80	0,75	196,00	147,00	3920,00	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кузнечнопрессовые цеха	35	–	500	0,70	0,78	0,80	350,00	280,00	8000,00	31	1,00	350,00	280,00	448,22	681
Гидравлический пресс	10	10	100	0,50	0,75	0,88	50,00	44,00	1000,00	–	–	–	–	–	–
Кузнечнопрессовые станки	15	20	300	0,65	0,50	1,73	195,00	337,35	6000,00	–	–	–	–	–	–
Молот	10	10	100	0,70	0,80	0,75	70,00	52,50	1000,00	–	–	–	–	–	–
Тепловой пункт	25	5	125	0,80	0,80	0,75	100,00	75,00	625,00	25	1,00	100,00	75,00	125,00	190
Гараж	13	3	39	0,90	0,90	0,48	35,10	16,85	117,00	13	1,00	35,10	16,85	38,93	59
Заводоуправление	15	4	60	0,85	0,90	0,48	51,00	24,48	240,00	15	1,00	51,00	24,48	56,57	86
Склад ремонтно-механического цеха (РМЦ)	22	8	176	0,70	0,80	0,75	123,20	92,40	1408,00	22	1,00	123,20	92,40	154,00	234
Склад химических реактивов	18	5	90	0,75	0,80	0,75	67,50	50,63	450,00	18	1,00	67,50	50,63	84,38	128
Склад готовой продукции (металлоконструкций)	30	7	210	0,65	0,75	0,88	136,50	120,12	1470,00	30	1,00	136,50	120,12	181,83	276
Склад прочего назначения	20	8	160	0,70	0,65	1,17	112,00	131,04	1280,00	20	1,00	112,00	131,04	172,38	262
ИТОГО:	–	–	8784,50	0,48	0,59	1,35	4188,45	5654,41	–	–	–	4188,45	5109,06	6725,87	10218

Для питающих сетей до 1000 В при $n_{\text{Э}} \leq 10$, значение расчетной реактивной мощности увеличивается на 10% (п.3.2.8.1) [17].

Полная нагрузка:

$$S_{\text{P}} = \sqrt{P_{\text{P}}^2 + Q_{\text{P}}^2} \quad (5)$$

Расчетный ток:

$$I_{\text{P}} = \frac{S_{\text{P}}}{\sqrt{3}U_{\text{H}}} \quad (6)$$

Расчет электрических нагрузок завода представлен в таблице 1 [17].

1.3 Анализ энергопотребления завода металлоконструкций

Классификация электроприемников, тепловых и энергетических установок по доле потребления представлена на рисунке 1.

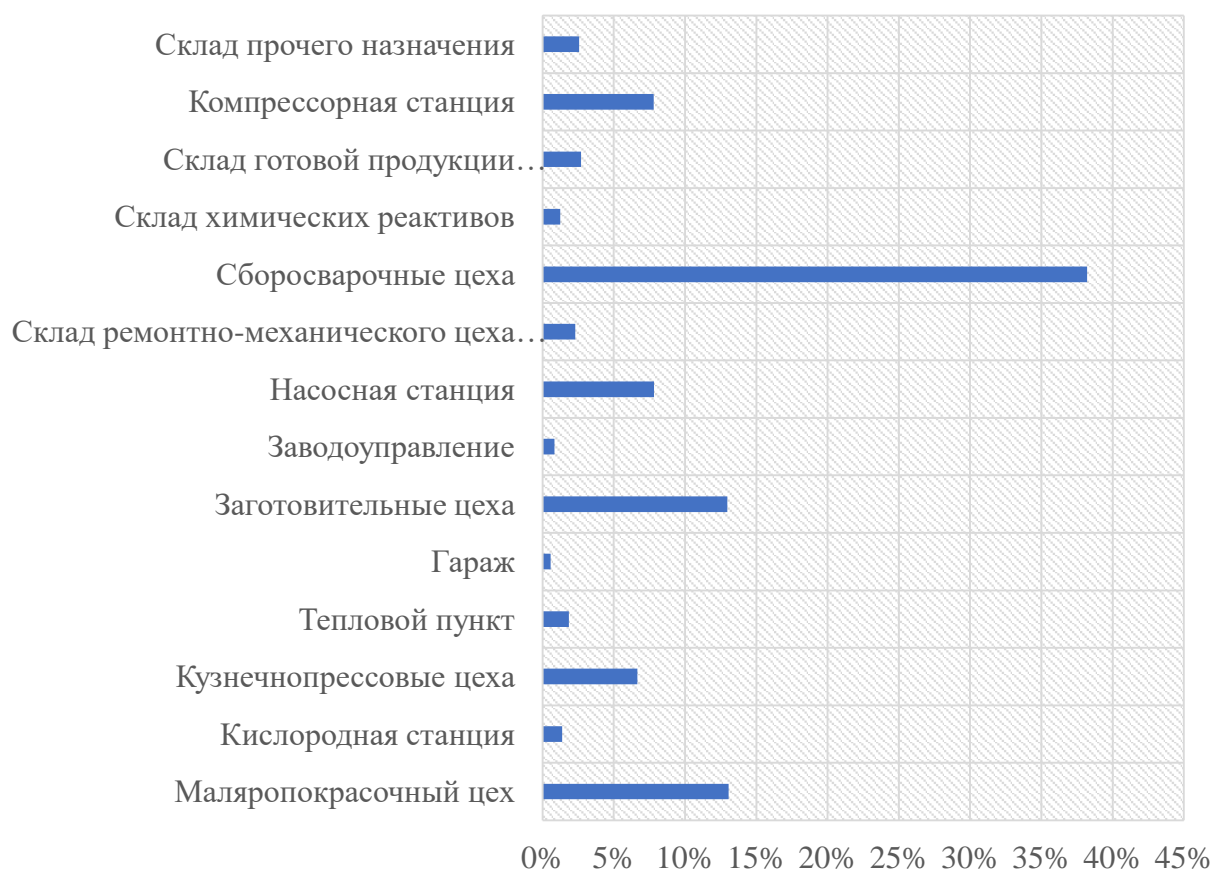


Рисунок 1 – Удельная мощность энергетических установок предприятия

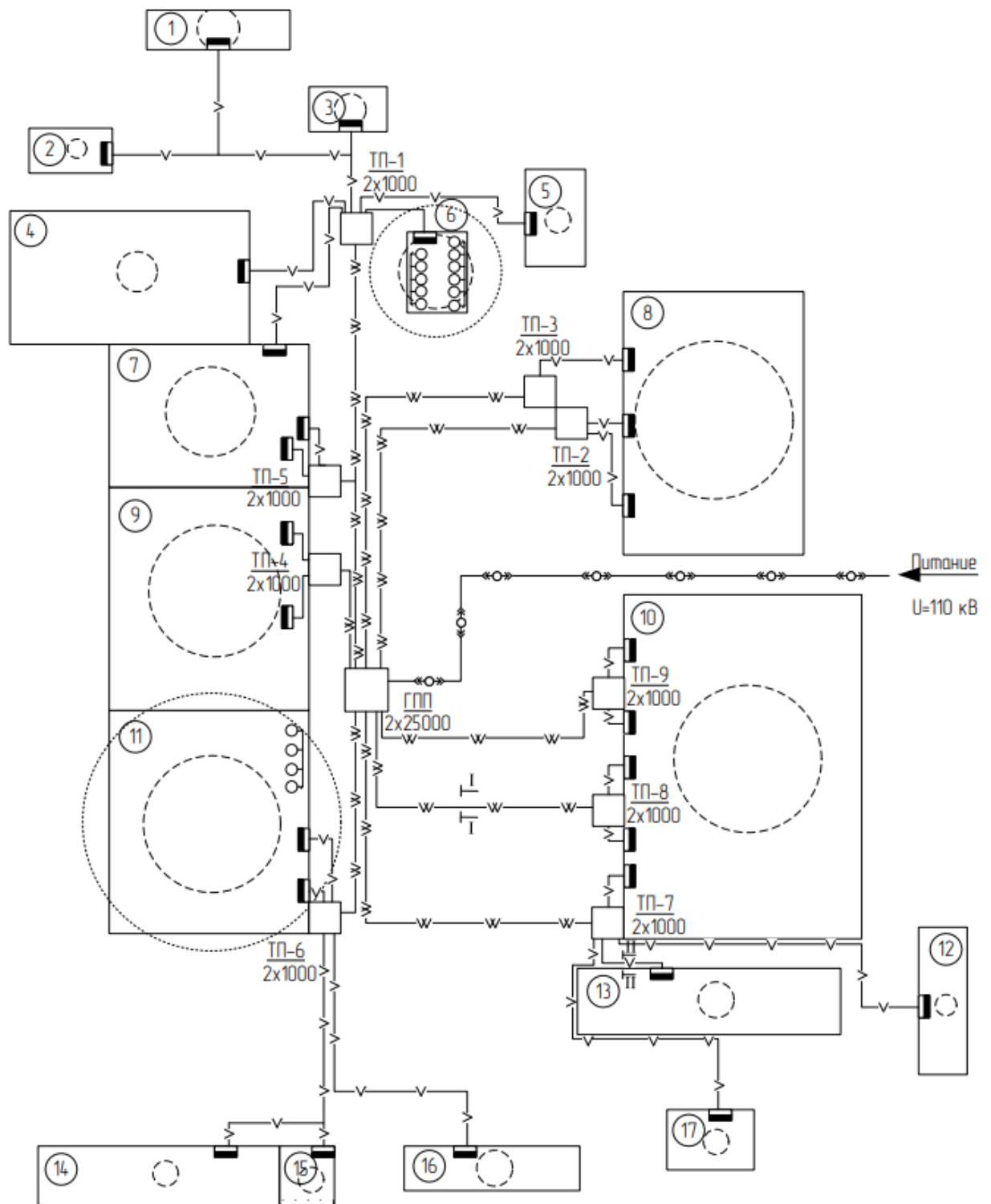
По данной диаграмме мы видим, что наиболее энергозатратными сферами завода металлоконструкций являются маляропокрасочный, кузнечнопрессовые, заготовительные, сборосварочные цеха, а также насосная и компрессорная станция.

Далее на рисунках 2, 3 представим принципиальную схему и план завода металлоконструкций.

Схема питания цехов радиальная, для электроснабжения цехов применяются 9 КТП 10/0,4, в составе которых работают по два трансформатора ТМГ 1000 10/0,4. Данные КТП запитываются от ГПП 110/10.

Потери напряжения являются допустимыми в распределительных сетях. Изменение распределительной сети не требуется.

Данные о распределительных сетях предприятия представлены в таблице 2.



1 – кислородная станция, 2 – склад химических реактивов, 3 – насосная станция, 4 – склад готовой продукции, 5 – склад, 6 – компрессорная станция, 7 – малярнопокрасочный цех, 8 – цех ЛЭП, 9,10 – сборосварочные цеха, 11 – заготовительный цех, 12 – гараж, 13 – кузнечно-прессовый цех, 14 – теплица, 15 – теплопункт, 16 – заводууправление, 17 – склад ремонтно-механического цеха

Рисунок 2 – План размещения цехов с центрами их электрических нагрузок, а также схема электроснабжения

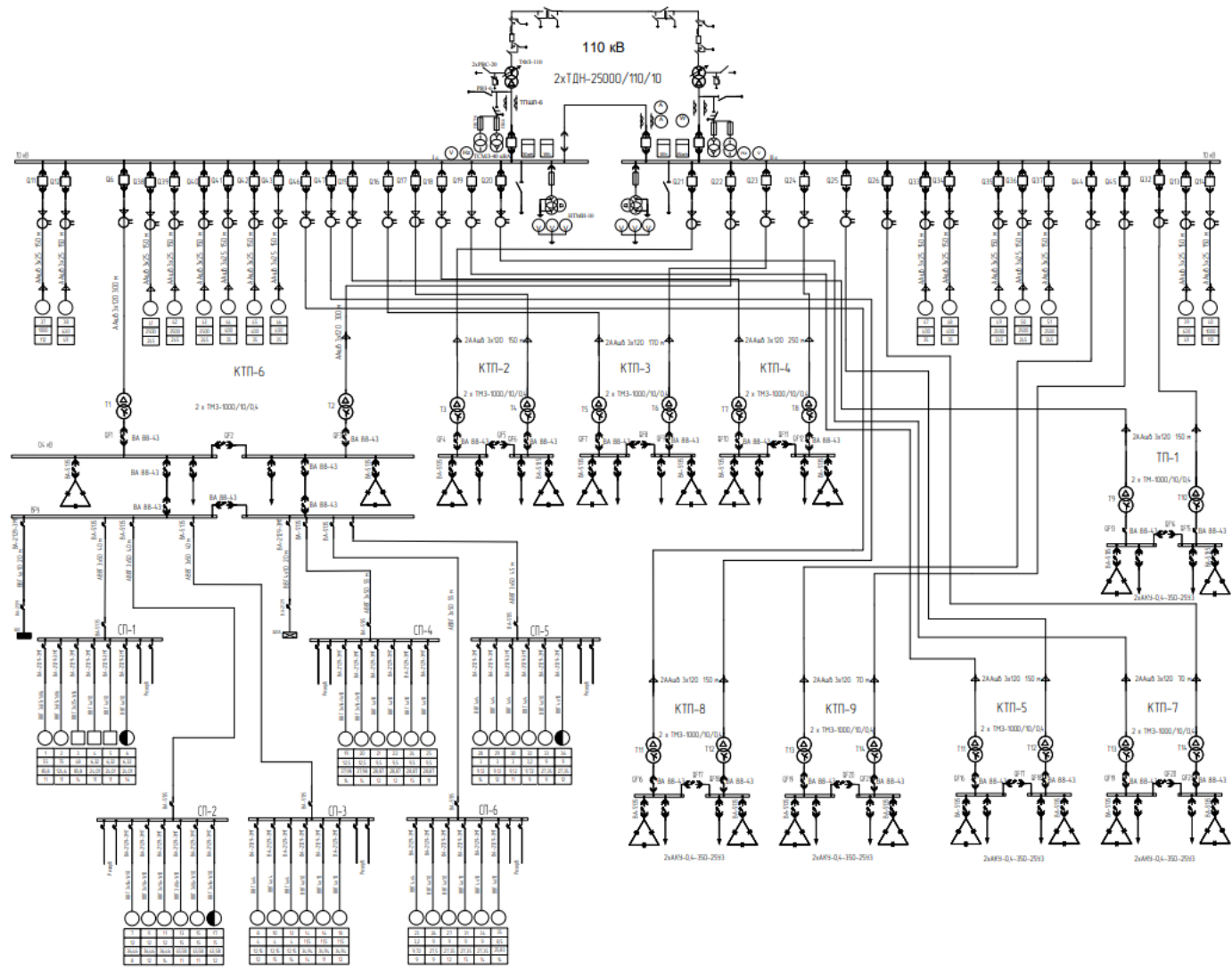


Рисунок 3 – Схема принципиальная электрическая металлургического завода

Таблица 2 – Данные о распределительных сетях предприятия

№ КТП	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P, кВт	1329,03	1137,30	1137,30	1603,76	1603,76	1437,30	1437,30	1437,30	1437,30
Q, квар	2,02	969,66	969,66	7,17	7,17	3,88	3,88	3,88	3,88
S, кВА	1329,03	1494,56	1494,56	1603,78	1603,78	1437,30	1437,30	1437,30	1437,30
Iраб, А	38,37	43,14	43,14	46,30	46,30	41,49	41,49	41,49	41,49
Iпав, А	76,73	86,29	86,29	92,59	92,59	82,98	82,98	82,98	82,98
Грасч, мм2	23,98	26,97	26,97	28,94	28,94	25,93	25,93	25,93	25,93
F, мм2	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Iдоп.справ, А	140	140	140	140	140	140	140	140	140
Iдоп.раб, А	122,88	122,88	122,88	122,88	122,88	122,88	122,88	122,88	122,88
Iдоп.пав, А	136,53	136,53	136,53	136,53	136,53	136,53	136,53	136,53	136,53
r, Ом/км	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
x, Ом/км	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
L, м	300	150	170	250	150	150	70	70	70
dUраб, %	1,83%	0,83%	0,94%	1,84%	1,11%	0,99%	0,46%	0,46%	0,46%
dUпав, %	3,67%	1,66%	1,88%	3,69%	2,21%	1,98%	0,93%	0,93%	0,93%

К шинам ГПП подключены синхронные и асинхронные двигатели, а также электрические печи (рисунок 4).

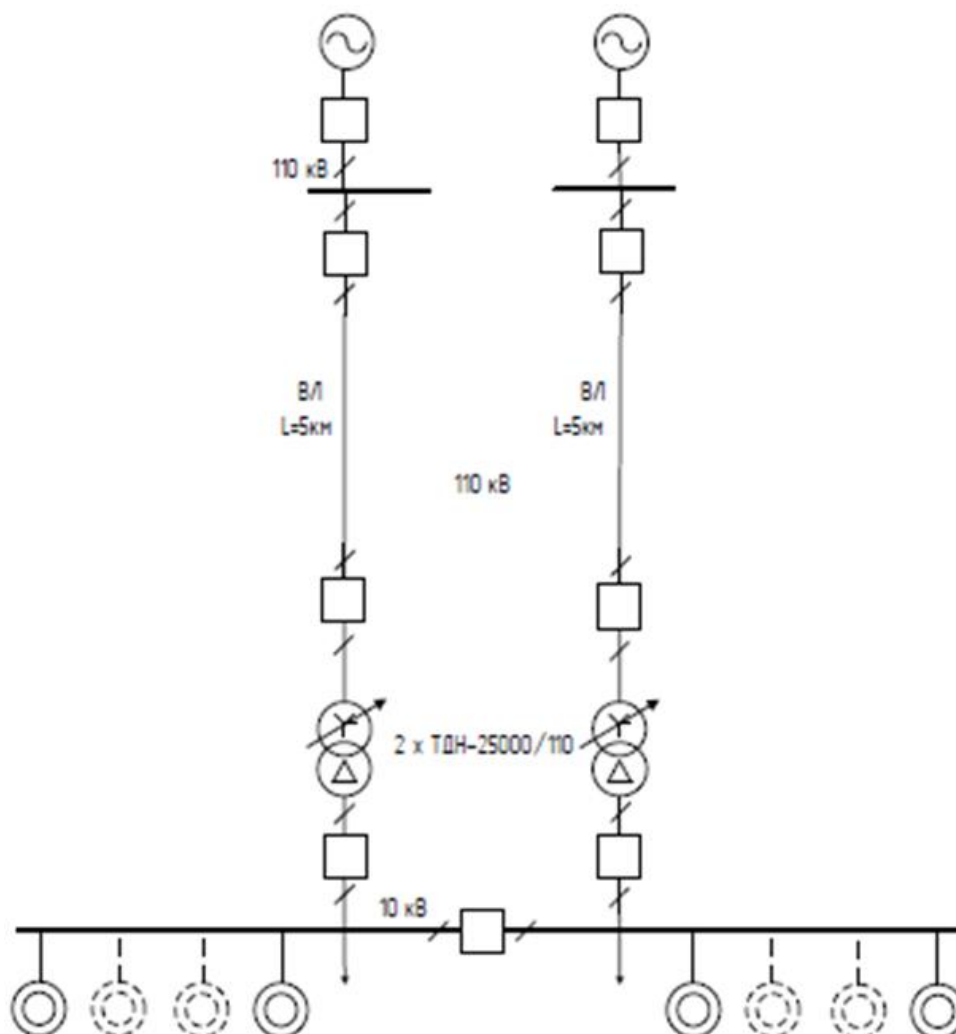


Рисунок 4 – Схема принципиальная электрическая ГПП

Для компенсации реактивной мощности применяются АКУ-0,4-300-25. Схема собственных нужд ГПП представлена на рисунке 5.

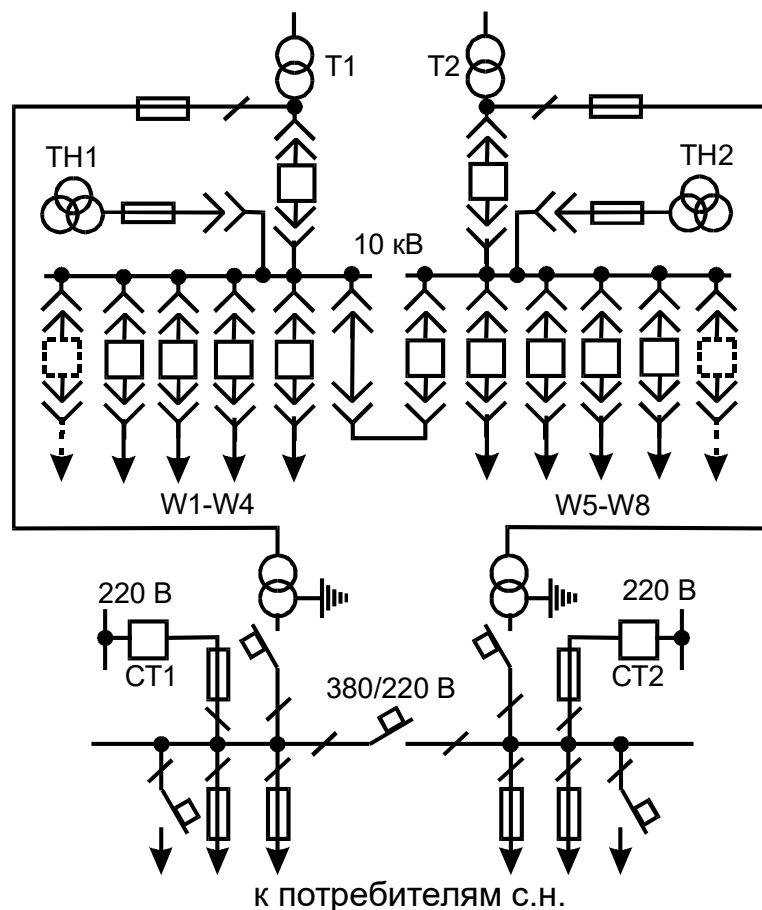


Рисунок 5 – Схема собственных нужд ГПП

В данных цехах значительную степень занимают компрессорное и насосное оборудование, а также станки различного типа.

Компрессорное оборудование завода металлоконструкций необходимо для создания потока сжатого воздуха. Сжатый воздух необходим для:

- краскораспылителей маляропокрасочного цеха;
- сушки материалов;
- очистки рабочих поверхностей (с помощью пневмоскребок);
- смазки отсеков пневмоудочкой;
- пневмоустановок и пневмоинструмента.

Классификация компрессорных установок приведена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Классификация компрессорных установок

Компрессорные установки приводятся в движение электродвигателями. В холодильных и тепловых машинах могут использоваться трехфазные синхронные и асинхронные электродвигатели. Передача механической энергии производится с помощью общего вала, соединения муфтой, ременных передач, а также редуктора, если необходимо повысить количество оборотов [19].

«Синхронные электродвигатели применяют для привода крупных компрессоров и размещают на одном валу с ними. Ротор электродвигателя при посадке его на вал тихоходного горизонтального компрессора служит одновременно маховиком. В комплект также включены возбуждающие агрегаты, питающие обмотку якоря постоянным током. Их снабжают дополнительной асинхронной обмоткой для запуска двигателя и достижения синхронного числа оборотов, соответствующего числу пар полюсов, установленных на статоре двигателя.

Такая конструкция синхронных двигателей повышает коэффициент использования потребляемой электрической мощности — косинус φ [14].

Постоянный крутящий момент имеют объемные компрессоры, крутящее усилие вала носит постоянный характер и не зависит от скорости вращения. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что мощность на валу зависит от рабочих условий (давления), способа управления производительностью, которые влияют на крутящий момент. В общем, уменьшение скорости вращения пропорционально уменьшению мощности на валу двигателя [13].

Преобразователи частоты используют для эффективного использования компрессоров, управления производительностью. Данные устройства используются для изменения скорости вращения ротора электродвигателя.

Главными преимуществами использования преобразователей частоты являются снижение потерь мощности, связанных с применением золотникового механизма, а также уменьшение износа [27].

Для управления работой вентиляторов и насосов также могут применяться преобразователи частоты.

Классификация подъемно-транспортного оборудования приведена на рисунке 7.

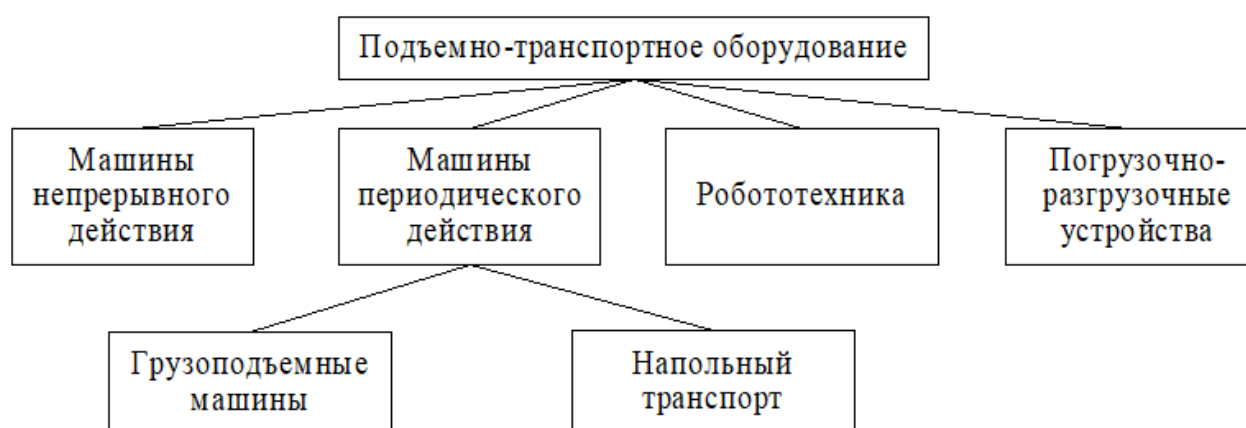


Рисунок 7 – Классификация подъемно-транспортного оборудования

Регулируемый электропривод также используется в составе оборудования, которое относится к подъемно-транспортному [8]. Данное оборудование необходимо для подъема и перемещения металлоконструкций. Регулируемый электропривод используется преимущественно в машинах периодического действия на рассматриваемом промышленном предприятии, а также на погрузочно-разгрузочном оборудовании (рисунок 7).

Электрический двигатель мостового крана запитывается от троллеев, которые представляют собой стальной уголок, смонтированный к стене здания. При проведении регламентных работ и действий по обслуживанию троллей используется специальная площадка. Для подведения тока к электрическому двигателю, который расположен на тележке, применяются гибкие кабели. Гибкие кабели крепятся на специальных подвижных подвесках.

План кузнечнопрессового цеха приведен на рисунке 8.

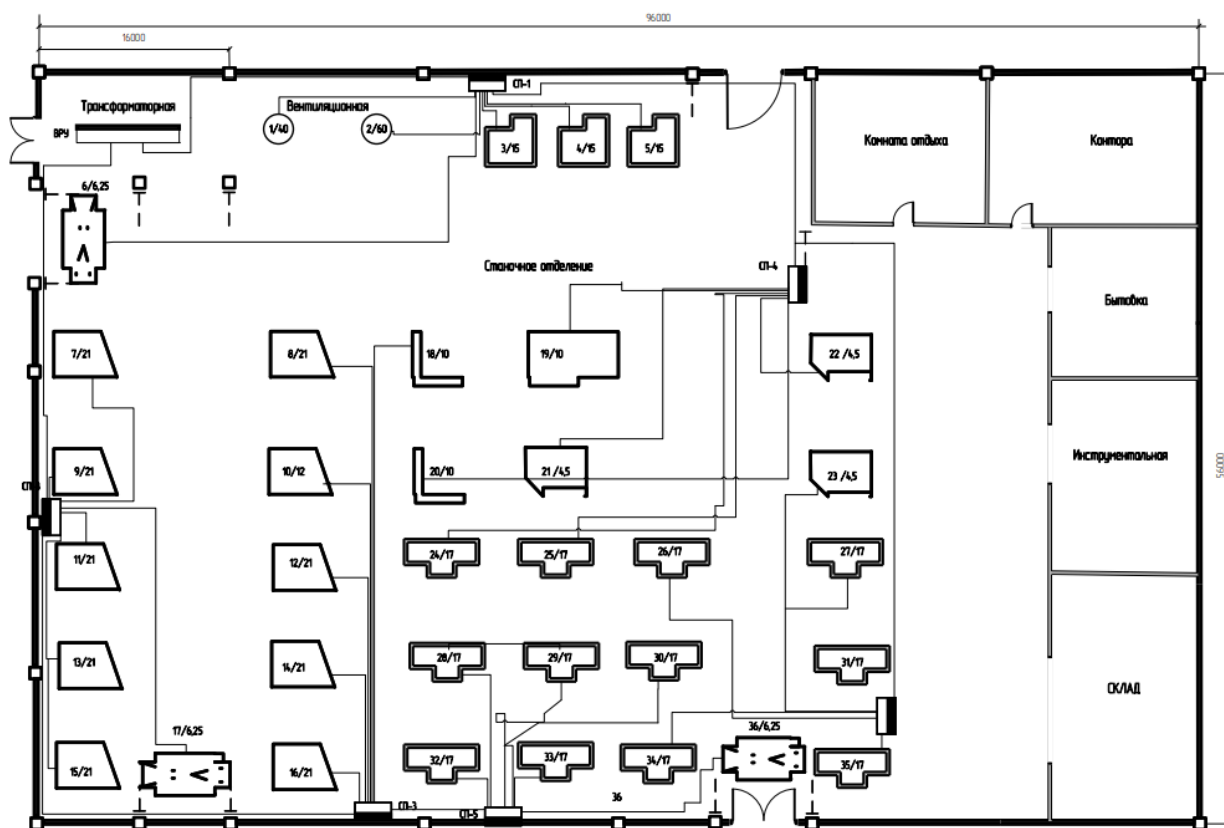


Рисунок 8 – План расстановки оборудования кузнечнопрессового цеха

Электродвигатели также используются для работы насосных агрегатов металлургического предприятия.

Потребление электроэнергии насосных агрегатов металлургического завода представлено на рисунке 9.

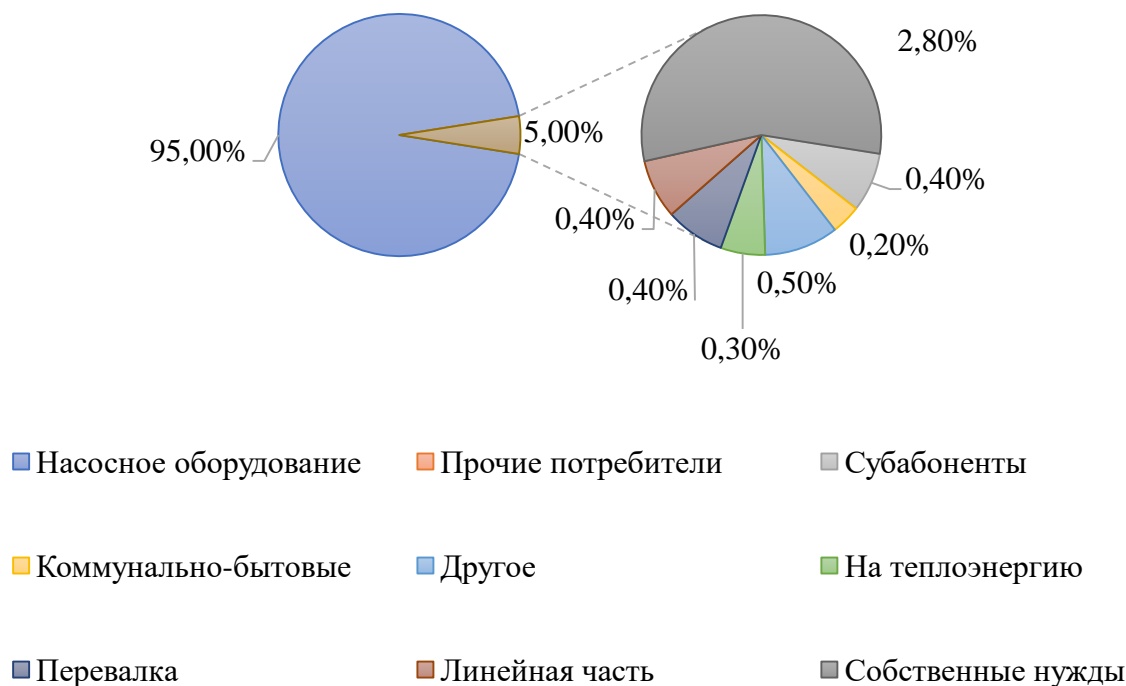


Рисунок 9 – Структура потребления электроэнергии

Эксплуатация магистральных насосов довольно необходима для изменения их гидравлические характеристики для повышения энергетической эффективности их работы. На рассматриваемом металлургическом предприятии подачи воды для закалки применяются насосы с использованием следующих методов регулирования:

- монтаж дросселей;
- перепуск или байпасирование (рисунок 10);
- отключение малонагруженных насосов, изменение схемы обвязки;
- использование сменных роторов;
- частотно-регулируемый электропривод;

- монтаж регулирующих муфт;
- применение газотурбинного привода;
- чистка и промывка трубопровода, повышение его пропускной способности, а также снижение гидросопротивления.

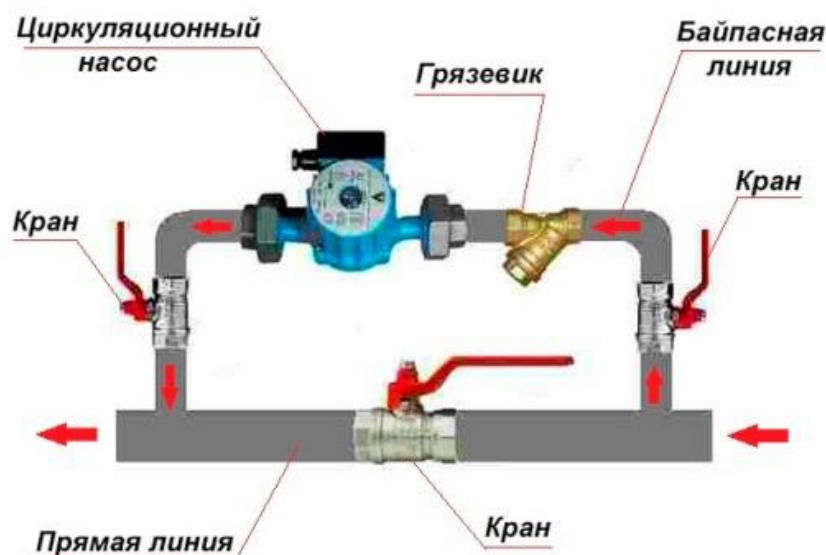


Рисунок 10 – Схема байпасирования

В трубопроводных системах байпас представляет обычную перемычку, которая позволяет свободно протекать теплоносителю. Данная конструкция позволяет исключить холостой ход электродвигателя, тем самым снизить затраты электроэнергии. Что касается эксплуатации, то ремонт оборудования производить проще, поскольку не требуется отключения всей линии подачи воды или теплоносителя. В определенных ситуациях байпас позволяет производить спуск и наполнение системы теплоносителем для исключения излишних потерь [16].

Для обвязки насосных агрегатов используются параллельные и последовательные схемы. Параллельное соединение используется тогда, когда не достигается необходимая подача перекачиваемой жидкости.

Тем не менее, более широкое применение получила последовательная обвязка. Насосы монтируются друг за другом, что обеспечивает увеличение напора и КПД. Используется такая схема преимущественно, когда наблюдается ускоренный рост гидравлических потерь с одновременным повышением расхода [9].

Так как значительная часть современных насосов комплектуется вместе со сменными роторами, то таким образом можно регулировать подачу. Сменные роторы позволяют работать на 50% и 70% от номинальной подачи насоса. Некоторые же насосы могут поставляться также с ротором, работающим на повышенной подаче (125% от номинальной подачи) [10].

Также в цехах металлургического завода используется регулируемый электропривод для работы:

- кузнечнопрессовых станков (рисунок 8).
- ленточной пилы;
- оборудования вальцовки листового металла;
- гильотины;
- гидравлического пресса;
- молота.

Выводы по первому разделу

На территории исследуемого предприятия размещаются 17 зданий различного назначения, мощности и категорий надежности.

Значительную долю потребляемой электрической энергии занимают сборосварочные цеха.

Схема питания цехов радиальная, для электроснабжения цехов применяются 9 КТП 10/0,4, в составе которых работают по два трансформатора ТМГ 1000 10/0,4. Данные КТП запитываются от ГПП 110/10. Потери в сетях являются допустимыми.

2 Обоснование направлений повышения энергетической эффективности на металлургическом предприятии

2.1 Повышение энергоэффективности работы электродвигателей

Для повышения энергетической эффективности рассматриваемого завода следует рассмотреть технологии и решения, применяемые на промышленных предприятиях, а также мероприятия по снижению потерь на литейных производствах.

На любом промышленном предприятии используются электродвигатели. Капиталовложения по замене электродвигателей являются целесообразными в том случае, если его средняя загрузка составляет менее половины его номинальной мощности. Это происходит за счет того, что потери в железе начинают преобладать, эффективность работы быстро снижается. При загрузке до 75% проводится технико-экономический расчет.

Структура потерь в электрических двигателях представлены на рисунке 11.

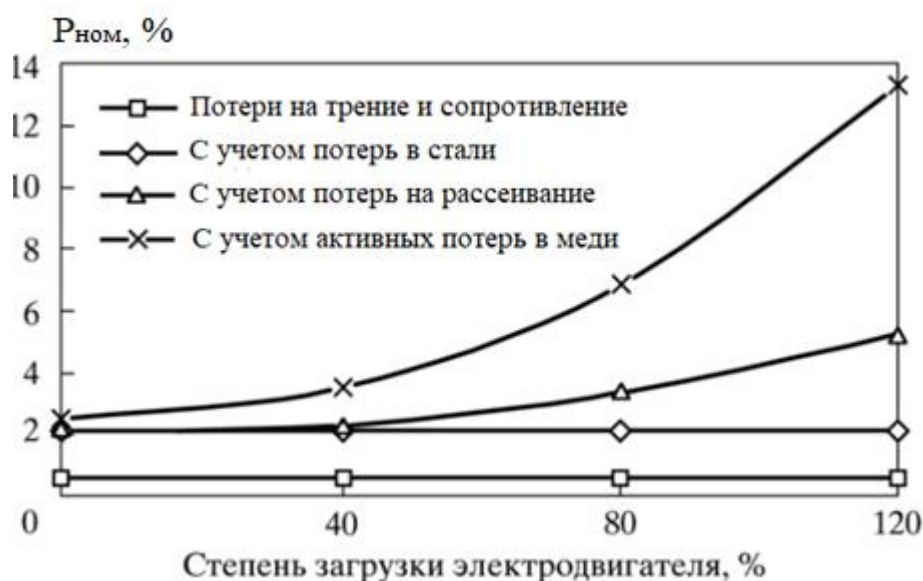


Рисунок 11 – Потери мощности в электрических двигателях

Стандартными для каждого электродвигателя независимыми от нагрузки являются потери в стали (намагничивания). Энергетические потери на трение зависят только от частоты вращения. Активные потери растут пропорционально квадрату тока нагрузки, а добавочные зависят от величины нагрузки.

Использование регулятора напряжения электрического двигателя позволяет уменьшить магнитное поле в стали, потери в стали, увеличить КПД электродвигателя. Регулятор напряжения имеет невысокое потребление электроэнергии [29].

На исследуемом заводе металлоконструкций используются электродвигатели со средней мощностью около 8 кВт. Зависимость величины потерь от выходной мощности приведена на рисунке 12 для данных электродвигателей.



Рисунок 12 – Влияние схемы обмоток на потери

Помимо автоматического переключения обмоток в зависимости от нагрузки, также применяются частотно регулируемые электроприводы. Последние позволяют экономить в переменных режимах работы технологического оборудования значительную долю электроэнергии [30]:

- вентиляторные и воздуходувные установки – 30-50%;
- компрессорные машины и агрегаты – 40-50%;

– насосы – 25%.

Более дешевым решением являются тиристорные регуляторы, поскольку диапазон регулирования более узкий относительно частотных регуляторов. Установка частотных регуляторов происходит медленно за счет высокой цены. Монтажные работы частотных регуляторов могут окупиться, когда значительную часть времени нагрузка электродвигателя примерно в три раза меньше его номинальной мощности.

Тем не менее, что при увеличении мощности электродвигателя, соотношение цены за 1 кВт мощности становится выгоднее (рисунок 13) [31].

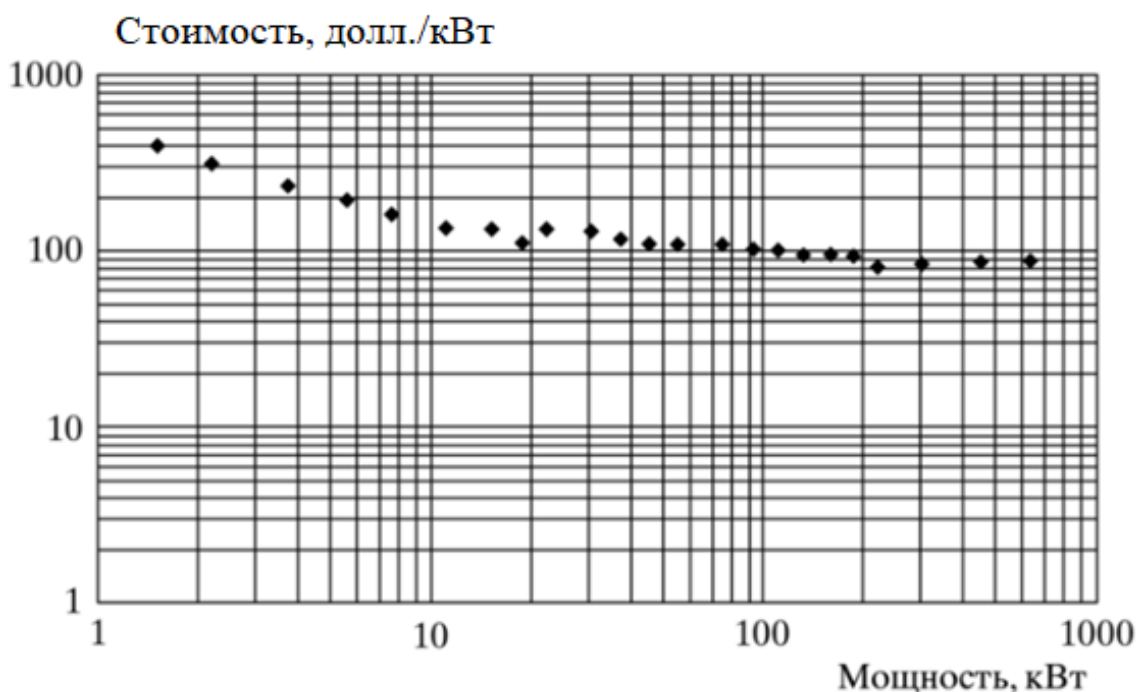


Рисунок 13 – Средняя удельная стоимость 1 кВт мощности частотного преобразователя

В последующем разделе проведем технико-экономический расчет внедрения частотных преобразователей.

2.2 Снижение потерь при обработке металлоконструкций

Электрическая энергия затрачивается на такие действия с металлоконструкциями как:

- разгрузка;
- складирование;
- подготовка для дальнейшей плавки;
- подготовка формовочных материалов;
- плавка;
- создание, заливка, охлаждение, выбивка форм;
- создание стержней;
- чистка литья.

На литейных и металлургических предприятиях технологические процессы подразделяются на:

- силовые;
- тепловые;
- электрохимические;
- электрофизические;
- электроосвещение.

Следует отметить, что значительную долю затрат энергоносителя на предприятиях металлургии занимает тепловая энергия. Поэтому при внедрении энергосберегающих мероприятий, следует уделять внимание также снижению потерь тепловой энергии.

Повышенные потери тепловой энергии вызывают дополнительные затраты электроэнергии, особенно для тепловых энергоустановок. Тепловые энергоустановки используются для проведения операций по термообработке металла металлургического завода.

Операции термообработки выполняются на следующих участках металлургического завода:

- плавильный участок;
- формовочный участок;
- термообрубный участок;
- обрубный участок;
- смесеприготовительный участок;
- стержневой участок.

Плавильный участок размещается в чугунолитейных цехах. В данных цехах используются вагранки для выплавки серого чугуна, а также используются в качестве первого звена для изготовления отливок из ковкого чугуна и чугуна высокой прочности.

Основными электроприемниками формовочного участка является оборудование для изготовления форм и формовочных смесей, заливки расплавленного металла: конвейеры, гидравлические насосы, аэраторы, сепараторы, устройства выбивки. В смесеприготовительном участке проводится подготовка формовочной смеси

В термообрубном участке проводится термообработка газовыми и электрическими печами.

В обрубном участке осуществляется обработка отливок. Электроприемниками данного участка являются обдирочные и наждачные станки, оборудования обработки дробью

В стержневом участке изготавливаются стержни для создания в отливках внутренних полостей.

Наиболее крупную нагрузку имеет плавильный и термообрубный участок сборосварочного цеха металлургического предприятия.

К главным направлениям энергосбережения цехов металлургических предприятий обычно относят:

- оптимизация использования вторичных энергоресурсов;
- модернизация оборудования и технологического процесса;
- использование более эффективных и экономичных энергоносителей.

Использование прочих энергоносителей затруднительно, поскольку необходима реконструкция инженерных сетей. Наиболее подходящим является модернизация оборудования. Значительную долю электрической нагрузки составляют электрические печи – около 3 кВт.

В сборосварочном цехе 50-70% электроэнергии затрачивается на работу плавильных участков. На плавильных участках используются такие электроприемники как:

- печи дугового типа;
- индукционные печи;
- вагранки горячего дутья;
- вагранки холодного дутья.

Помимо этого, значительную долю затрат составляют участки термообработки, которые имеют в своем составе:

- электропечи сопротивления;
- пламенные печи.

«Дуговые печи являются наиболее крупными электроприемниками литейных цехов. На металлургических предприятиях мощность дуговых печей достигает 100 МВА, а на машиностроительных предприятиях – 30 МВА. Наибольшее распространение имеют дуговые печи переменного тока. Они применяются для плавки сталей различных сортов и чугуна.

Результаты энергоаудитов дуговых печей, показывают, что в Российской Федерации удельные расходы электроэнергии в дуговых печах составляют от 600 до 900 кВтч/т расплавляемого металла» [4].

Ключевую роль играет время расплавления дуговой печи, поскольку в этот период потребляется 50-70% электрической энергии.

На металлургических предприятиях могут использоваться три класса дуговых печей в зависимости от значения удельной мощности:

- средней мощности (200-400 кВА/т);
- мощные (400-700 кВА/т);
- сверхмощные (более 700 кВА/т).

Сверхмощные печи на объекте исследования не применяются.

Мощные дуговые печи предприятия имеют низкое время расплавления и соответственно величину удельного расхода электроэнергии (рисунок 14).

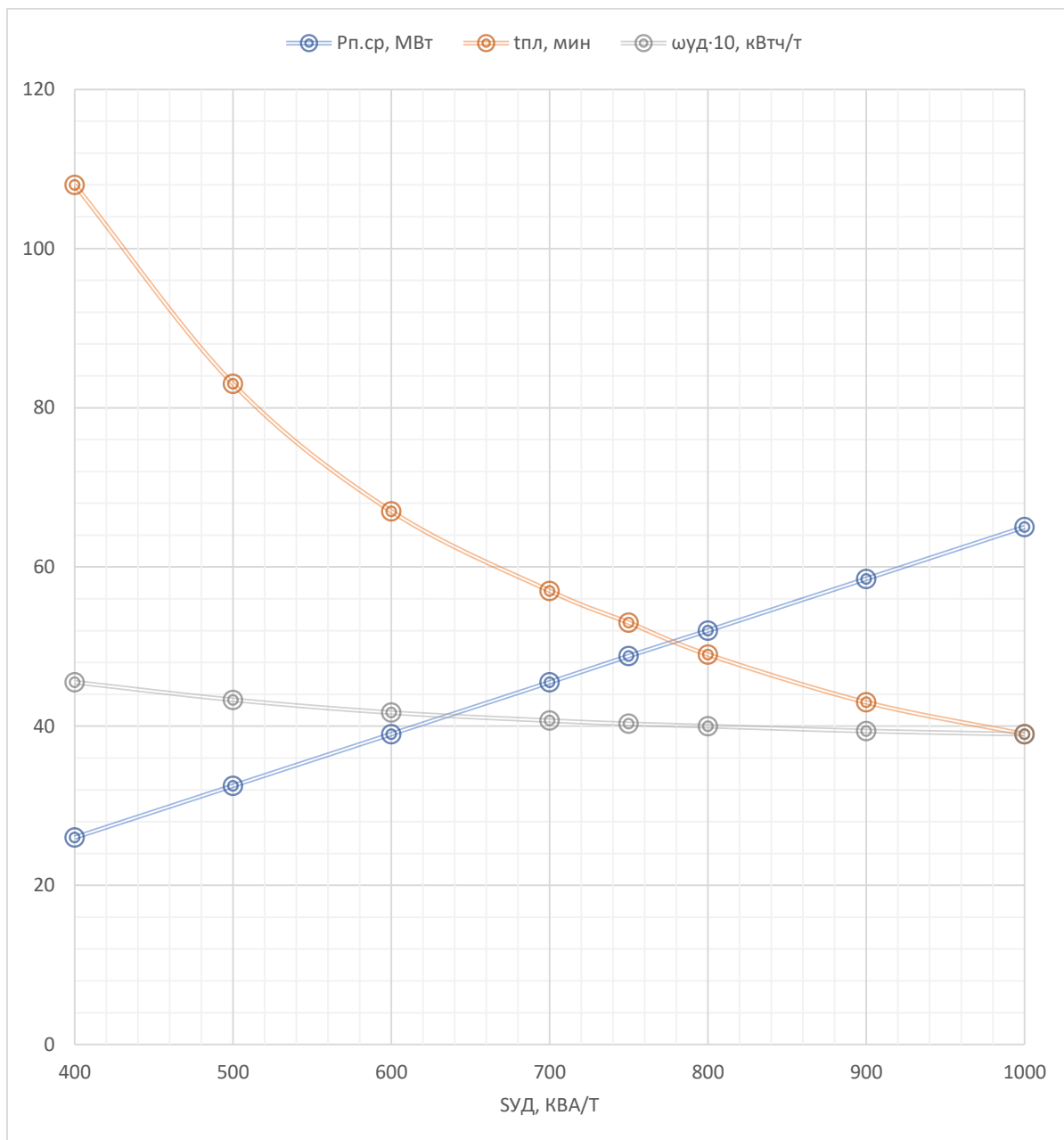


Рисунок 14 – Зависимость параметров процесса плавления от удельной мощности дуговой печи предприятия

На рисунке 15 представлены нормы удельного расхода электроэнергии в зависимости от номинальной емкости сверхмощных дуговых печей, собираемых на территории РФ.

Несмотря на то, что сверхмощные печи являются наиболее энергоэффективными, загрузка печей является недостаточной для того, чтобы получить достижимых низких затрат энергоресурсов. Загрузка в среднем 80 тонн для печей предприятия, что по графику является оптимальным и не позволит получить требуемую окупаемость замене оборудования на более мощное.

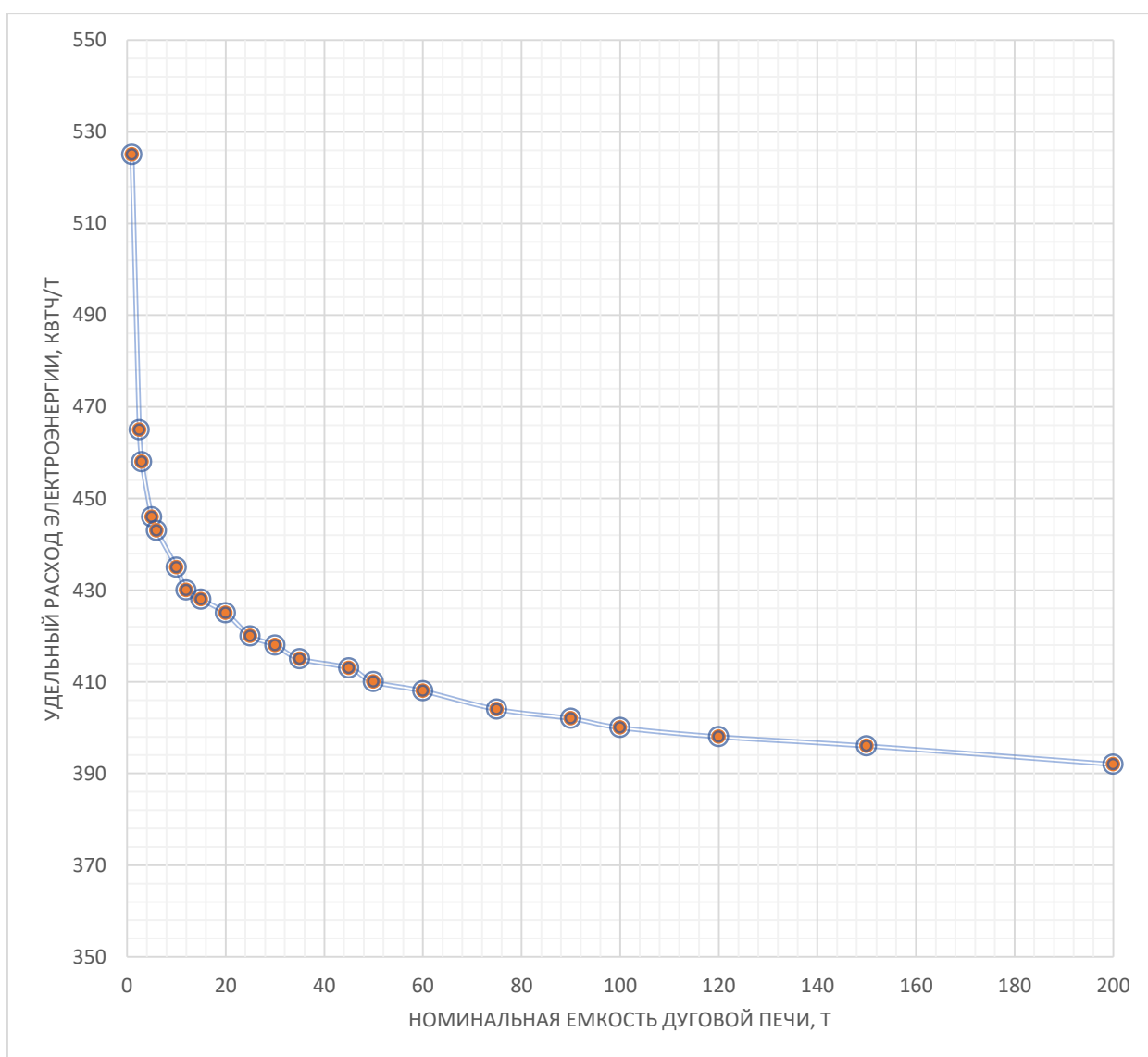


Рисунок 15 – Зависимость удельного расхода электроэнергии в зависимости от емкости дуговой печи

Относят к перспективным способам уменьшения удельных расходов электрической энергии и суммарных энергозатрат на плавку также использование топливно-кислородных горелок для прогрева металлошихты.

Общепринятое количество топливно-кислородных горелок, которые монтируются в «холодных зонах» дуговой печи в количестве трех штук. Их мощность определяется по вместимости дуговой печи. Наиболее экономичным соотношением объемов кислорода и газа, подаваемого в топливно-кислородную горелку два к одному и более.

Использование топливно-кислородных горелок уменьшает удельные расходы электрической энергии дуговой печи на 55-100 кВтч/т.

«При использовании топливно-кислородных горелок достигаются:

- увеличение количества тепла, вводимого в печь;
- повышение температуры в «холодных точках»;
- экономия электроэнергии;
- сокращение времени от выпуска до выпуска, что приводит к повышению производительности печи;
- уменьшение расхода электродов (на 0,4 кг/т) благодаря снижению продолжительности работы под током;
- уменьшение расхода огнеупоров (на 0,5 кг/т) в связи с сокращением продолжительности плавки» [4].

В течение самого процесса плавки КПД топливно-кислородных горелок уменьшается, поскольку шихта опускается, а пламя почти с ней контактирует. Исходя из этого, продолжительность работы топливно-кислородных горелок составляет около половины времени плавления (в начале плавления). Поэтому исходя из вышесказанного, топливно-кислородные горелки показывают самую высокую эффективность работы в начале процесса плавки, когда пламя окружает относительно холодный скрап.

Исходя из плотности шихты в печи (должна быть не ниже 1 т/м³) определяется эффективность работы топливно-кислородных горелок, а также площадь поверхности шихты (должна быть примерно равна 9-11 м²/т).

Помимо этого, использование инжекционных технологий является перспективным направлением роста производительности и эффективности работы дуговых печей. Данные технологии предусматривают подачу в расплавленный металл кислорода и углерода.

«Инжекционная технология и оборудование для её осуществления обеспечивают:

- одновременное эффективное и гибкое использование электроэнергии и топлива;
- максимальное использование газообразного кислорода при сжигании природных ТЭР для предварительного подогрева, подрезки, плавления шихты, дожигания образующегося СО, быстрого окисления выплавляемого металла;
- формирование устойчивых вспененных шлаков с помощью многоцелевой фурмы для эффективной передачи энергии расплавляемому металлу и его перемешиванию, что позволяет снизить расход электроэнергии и ускорить процесс окисления;
- высокую эффективность добавок углерода и газа при уникальной системе инъекции;
- низкое содержание азота в стали и образование оксидов азота при закрытых дугах» [4].

На рисунке 16 представлены рабочие и электрические характеристики дуговой печи.

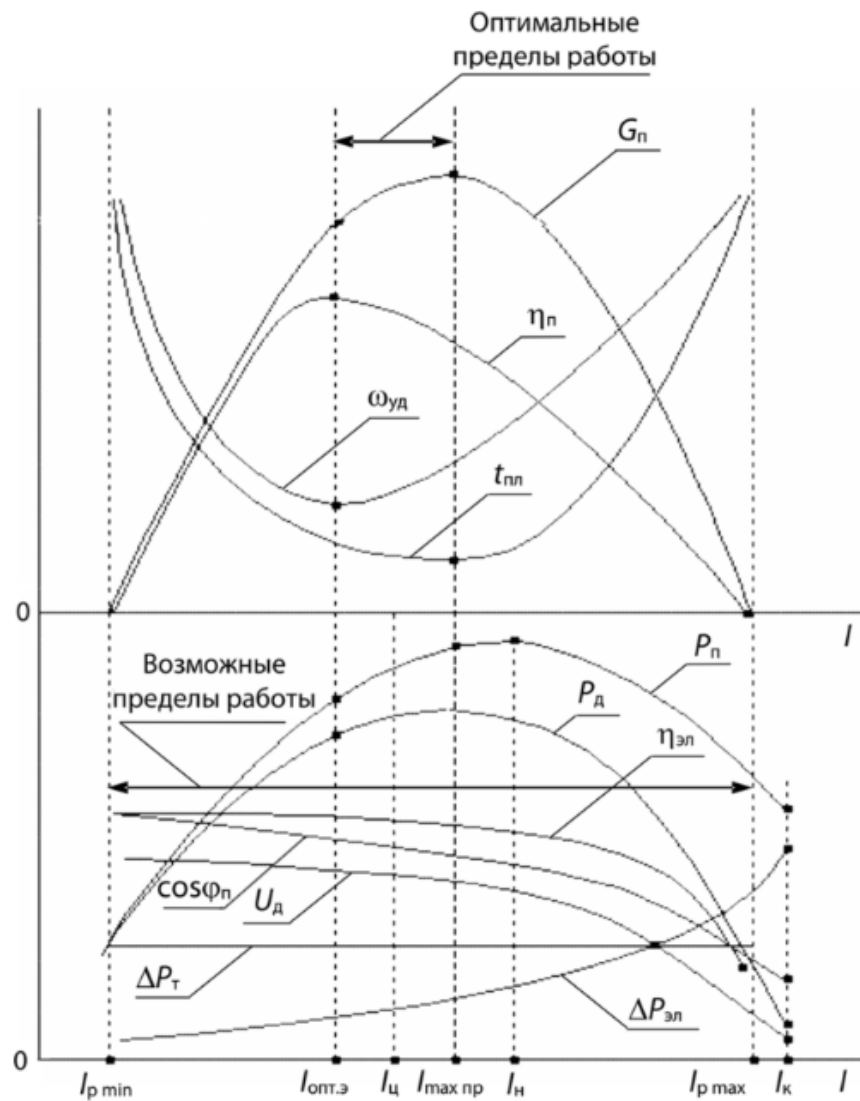


Рисунок 16 – Рабочие и электрические характеристики дуговой печи

По рисунку 17 мы видим, что для создания оптимального режима работы печи, следует поддерживать ток $I_{\text{опт.э}}$, а для того, чтобы достичь максимальной производительности печи, необходимо повысить ток до $I_{\text{max пр}}$.

Независимо от способа плавления металл можно обрабатывать:

- вне дуговой печи в вакууме;
- синтетическими шлаками;
- продувкой нейтральными газами, порошками.

Также следует отметить, что некоторые процессы плавки требуют дополнительного количества электроэнергии:

«Использование окатышей сопровождается увеличением расхода электроэнергии. Это объясняется тем, что восстановление оксидов железа углеродом происходит с поглощением тепла; кроме того, увеличивается количество шлака, что также приводит к возрастанию $\omega_{уд}$ » [4].

Кроме того, затраты электрической энергии в период плавки также определяются исходя из качества металла. Качество металла влияет на число подвалок, стабильность электродуги и КПД.

Выводы по второму разделу

Поскольку на исследуемом предприятии используется значительное количество электродвигателей в различных инженерных системах, были рассмотрены основные мероприятия по повышению энергетической эффективности их работы.

Для увеличения энергетической эффективности необходимо учитывать режим работы печи, использовать топливно-кислородные горелки. Также следует снизить потери тепловой энергии (и электрической энергии соответственно) на футеровку, а также потери электрической энергии в электроцепи. Технико-экономический расчет реконструкции технологического оборудования приведем в следующем разделе.

3 Технико-экономический расчет

3.1 Анализ повышения энергоэффективности завода от внедрения новых типов электродвигателей

У электродвигателей КПД может изменяться в диапазоне от 10 до 99% в зависимости от типа и конструктивных особенностей [7].

«Для того, чтобы классифицировать электрические двигатели была разработана особая классификация, утвержденная организацией ИЕС. Так действующим евростандартом ИЕС60034-30-1 выделяют классы энергоэффективности электродвигателей:

- IE1 – это стандартный тип;
- IE2 – высокая группа эффективности;
- IE3 – сверхвысокий класс;
- IE4 – премиум класс» [26].

Класс энергоэффективности электродвигателя повышается следующими способами:

- «применения более современных марок электротехнической стали с меньшими удельными потерями и меньшей толщиной листов сердечников;
- чем выше КПД (и ниже потери), тем меньше энергии потребляет электродвигатель из сети для создания той же самой мощности. С ростом энергоэффективности увеличивается и срок службы двигателя.
- уменьшением воздушного зазора между статором и ротором и обеспечением его равномерности;
- снижением электромагнитных нагрузок, т.е. увеличения массы активных материалов при уменьшении количества витков и увеличения сечения проводника обмотки (приводит к снижению сопротивлений обмоток и электрических потерь);

– оптимизацией геометрии зубцовой зоны, применением современной изоляции и пропиточного лака, новых марок обмоточного провода» [14].

«Альтернативой к использованию традиционных подшипников может стать внедрение магнитных подшипников, которые сейчас используются только в высокоскоростных электрических машинах. Недостатки в магнитной системе подшипников могут заключаться в сложной системе управления электромагнитами в таких системах» [5].

На рисунке 17 видно, что чем выше КПД выдаваемый электродвигателем при заданной нагрузке, тем выше класс энергоэффективности.

Стоимость 1 кВтч электроэнергии примем 4,46 руб. Для установки примем электродвигатели классом энергоэффективности IE2. Данные электродвигатели имеют меньшую мощность, при практически тех же механических характеристиках.

Присоединительные размеры электродвигателей (используемых и устанавливаемых) соответствуют стандарту DIN EN 50347.

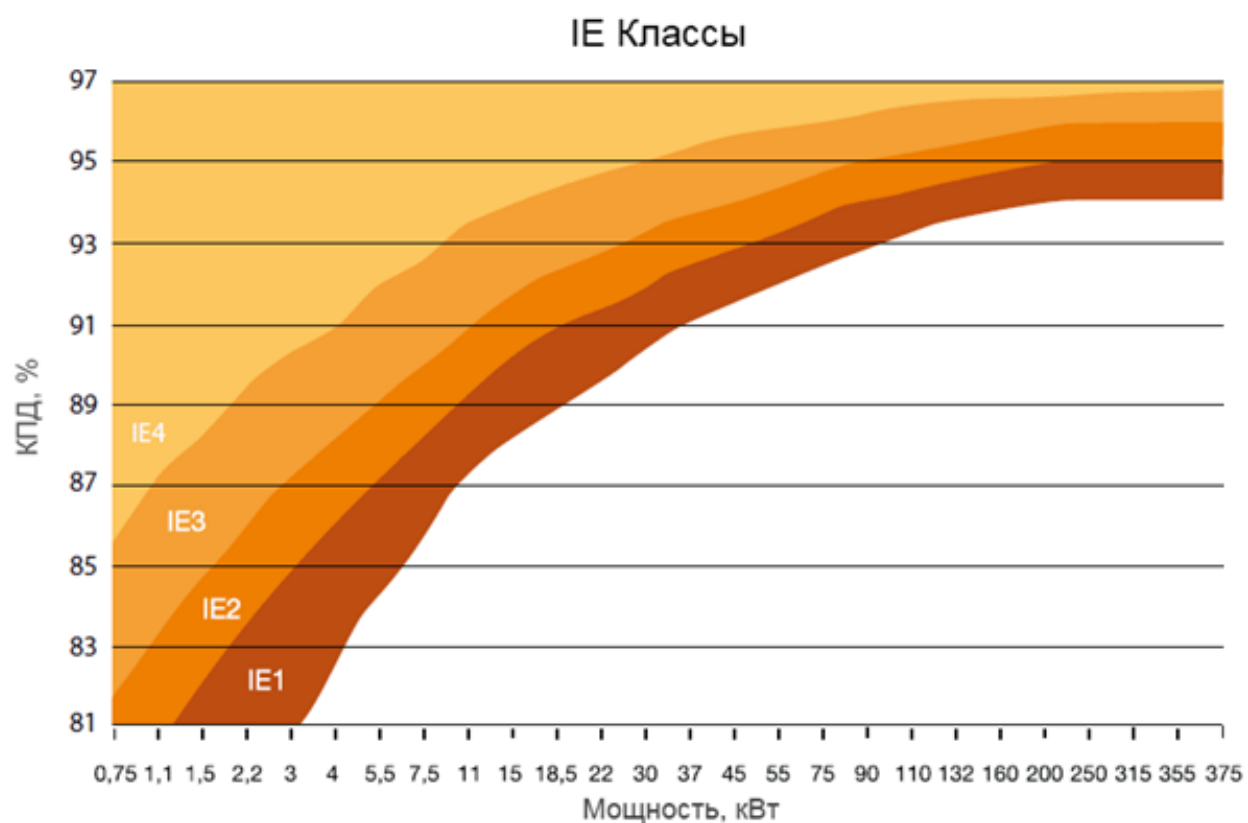


Рисунок 17 – График зависимости КПД электродвигателя от мощности

Электрические двигатели, предлагаемые для замены, соответствуют классу IE2. Технические характеристики установленных электродвигателей и предлагаемых приведены в таблице 3. Для того, чтобы проект по установке энергоэффективных электродвигателей был рентабельным, проведен технико-экономический расчет предлагаемого мероприятия. Результаты расчета приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Выбор энергоэффективных электродвигателей

Месторасположение	Оборудование	Электродвигатель используемый				Электродвигатель				Механические параметры электродвигателей		
		Тип	η	$\cos\phi$	Р, кВт	Тип	η	$\cos\phi$	Р, кВт	$M_{п}/M_{н}$	$M_{max}/M_{н}$	п, об/мин
Кузнечно-прессовый цех	Кузнечно-прессовые станки	АИР 112М2	0,87	0,88	7,5	АИС 112М2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2972
	Оборудование вальцовки листового металла	АИР 250М2	0,94	0,91	90	АИС 250М2-IE2	0,93	0,89	55	2,2	2,3	2975
	Гильотины	АИР 250М6	0,93	0,86	55	АИС 250М6-IE2	0,92	0,83	37	2,1	2,1	980
	Гидравлический пресс	АИР 250М2	0,94	0,91	90	АИС 250М2-IE2	0,93	0,89	55	2,2	2,3	2975
	Молот	АИР 250М6	0,93	0,86	55	АИС 250М6-IE2	0,92	0,83	37	2,1	2,1	980
Насосная станция	Насосные агрегаты	АИР 132М4	0,88	0,84	11	АИС 132М4-IE2	0,89	0,83	7,5	2,2	2,3	1440

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Малярнопокрасочный цех	Аппарат пылеудаления	АИР 112М2	0,87	0,88	7,5	АИС 112М2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2972
Кислородная станция	Воздушный компрессор	АИР 132М4	0,88	0,84	11	АИС 132М4-IE2	0,89	0,83	7,5	2,2	2,3	1440
Компрессорная станция	Компрессоры	АИР 315М4	0,95	0,89	200	АИС 315М4-IE2	0,95	0,89	132	2,1	2,2	1480
Заготовительные цеха	Ленточные пилы	АИР 315М2	0,95	0,92	200	АИС 315М2-IE2	0,95	0,9	132	2	2,2	2975
	Гильотины	АИР 250М6	0,93	0,86	55	АИС 250М6-IE2	0,92	0,83	37	2,1	2,1	980
Технологические установки, административные корпуса и складские помещения	Циркуляционные насосы системы отопления и ГВС	АИР 112М2	0,87	0,88	7,5	АИС 112М2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2972

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Насосная станция	Пневмоустановка	АИР180М2	0,91	0,9	30	АИС180М2-IE2	0,91	0,89	22	2	2,3	2950
	Подъемно-транспортный механизм	АИР180М2	0,91	0,9	30	АИС180М2-IE2	0,91	0,89	22	2	2,3	2950
Административный корпус	Вентиляционные установки	АИР132М4	0,88	0,84	11	АИС132М4-IE2	0,89	0,83	7,5	2,2	2,3	1440
Тепловой пункт		АИР250М6	0,93	0,86	55	АИС250М6-IE2	0,92	0,83	37	2,1	2,1	980
Гараж		АИР250М4	0,94	0,88	90	АИС250М4-IE2	0,94	0,86	55	2,2	2,3	1480

Таблица 4 – Техничко-экономический расчет энергоэффективных электродвигателей

Месторасположение	Оборудование	Тип электродвигателя	Р, кВт	n, шт	Экономия			Стоимость замены электродвигателя, тыс. руб	Общая стоимость, тыс. руб	Простой срок окупаемости, лет
					кВт	кВтч/год	тыс. руб			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кузнечно-прессовый цех	Кузнечно-прессовые станки	АИС 112М2-IE2	4	12	42	61320	273,49	27,33	327,97	1,20
	Оборудование вальцовки листового металла	АИС 250М2-IE2	55	1	35	51100	227,91	375,80	375,80	1,65
	Гильотины	АИС 250М6-IE2	37	2	36	52560	234,42	252,81	505,62	2,16
	Гидравлический пресс	АИС 250М2-IE2	55	1	35	51100	227,91	375,80	375,80	1,65
	Молот	АИС 250М6-IE2	37	1	18	26280	117,21	252,81	252,81	2,16
Насосная станция	Насосные агрегаты	АИС 132М4-IE2	7,5	20	70	102200	455,81	51,25	1 024,91	2,25
	Пневмоустановка	АИС180М2-IE2	22	5	40	58400	260,46	150,32	751,60	2,89
	Подъемно-транспортный механизм	АИС180М2-IE2	22	6	48	70080	312,56	150,32	901,92	2,89

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Маляропокрасочный цех	Аппарат пылеудаления	АИС 112М2-IE2	4	34	119	173740	774,88	27,33	929,25	1,20
Кислородная станция	Воздушный компрессор	АИС 132М4-IE2	7,5	7	24,5	35770	159,53	51,25	358,72	2,25
Компрессорная станция	Компрессоры	АИС 315М4-IE2	132	3	204	297840	1 328,37	901,92	2 705,76	2,04
Заготовительные цеха	Ленточные пилы	АИС 315М2-IE2	132	5	340	496400	2 213,94	901,92	4 509,60	2,04
	Гильотины	АИС 250М6-IE2	37	5	90	131400	586,04	252,81	1 264,05	2,16

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Технологические установки, административные корпуса и складские помещения	Циркуляционные насосы системы отопления и ГВС	АИС 112 М2-IE2	4	14	49	71540	319,07	27,33	382,63	1,20
Административный корпус	Вентиляционные установки	АИС 132М4-IE2	7,5	12	42	61320	273,49	51,25	614,95	2,25
Тепловой пункт		АИС 250М6-IE2	37	7	126	183960	820,46	252,81	1 769,68	2,16
Гараж		АИС 250М4-IE2	55	5	175	255500	1 139,53	375,80	1 879,00	1,65
–	–	–	–	–	–	2180510	9 725,07	–	18 930,07	–

Применение энергоэффективных электродвигателей класса IE2 позволили снизить потери электрической энергии предприятия на 2180 МВтч/год при работе в одну смену (8 часов).

Рассчитаем экономию электроэнергии на примере кузнечнопрессовых станков. Годовая экономия электроэнергии при внедрении энергоэффективных электродвигателей определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{W1} = (P_2 - P_1) \cdot n \cdot K_{\text{И}} \cdot t, \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{W1} = (7,5 - 4) \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot 2920 = 61320 \text{ кВтч/год},$$

где P_1 , P_2 – активные мощности электроприемников до и после соответственно, кВт;

n – количество электроприемников;

$K_{\text{И}}$ – коэффициент использования;

t – время работы за год, ч/год;

Годовая экономия электроэнергии при внедрении преобразователей частоты для группы электроприводов определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{W2} = P_2 \cdot n \cdot K_{\text{И}} \cdot K_{\text{Н}} \cdot t, \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_{W1} = 4 \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 2920 = 28133 \text{ кВтч/год},$$

где n – количество электроприемников;

$K_{\text{Н}}$ – коэффициент нагрузки электродвигателей;

t – время работы за год, ч/год;

Коэффициент нагрузки электродвигателей является усредненным значением и составляет в среднем 0,4. Данный коэффициент определяет эффективность работы группы электродвигателей.

Простой срок окупаемости, выраженный в годах, определяется по следующему выражению:

$$PP = \frac{C}{\varepsilon_W S_W}, \quad (9)$$

где C – стоимость установки электрооборудования, тыс. руб;

S_W – тариф электроэнергии, руб/кВтч.

По полученным результатам, срок окупаемости при внедрении электрических двигателей класса IE2 составляет не более чем 3 года. Электродвигатели IE3 являются более дорогостоящими и приводят к окупаемости значительно позже.

Далее проведем технико-экономический расчет внедрения частотных преобразователей. Используя данные рисунка 13, примем стоимость 1 кВт мощности примем согласно текущему валютному курсу.

При производстве металлоконструкций электродвигатели предприятия задействованы на 55-65%. Поэтому использование преобразователей частоты позволит снизить потери электроэнергии.

Расчет экономии электроэнергии для каждого электродвигателя представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Техничко-экономический расчет частотных преобразователей

Месторасположение	Оборудование	Электродвигатель				n, шт	Стоимость частотного преобразователя, тыс. руб	Годовое электропотребление, кВтч	Годовое потребление при работе частотного преобразователя, кВтч	Экономия		Простой срок окупаемости, лет
		Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт					кВтч/год	тыс. руб	
Кузнечно-прессовый цех	Кузнечно-прессовые станки	АИС 112М2-IE2	0,86	0,88	4	12	28	5840	3495,58	28133,07	125,47	2,68
	Оборудование вальцовки листового металла	АИС 250М2-IE2	0,93	0,89	55	1	385	80300	46465,3	33834,74	150,90	2,55
	Гильотины	АИС 250М6-IE2	0,92	0,83	37	2	259	54020	34027,2	39985,58	178,34	2,90
	Гидравлический пресс	АИС 250М2-IE2	0,93	0,89	55	1	385	80300	48870	31429,98	140,18	2,75
	Молот	АИС 250М6-IE2	0,92	0,83	37	1	259	54020	34777,6	19242,38	85,82	3,02

Продолжение таблицы 5

Месторасположение	Оборудование	Электродвигатель				п, шт	Стоимость частотного преобразователя, тыс. руб	Годовое электропотребление, кВтч	Годовое потребление при работе частотного преобразователя, кВтч	Экономия		Простой срок окупаемости, лет
		Тип	η	cos ϕ	P, кВт					кВтч/год	тыс. руб	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Насосная станция	Насосные агрегаты	АИС 132М4-IE2	0,89	0,83	7,5	20	52,5	10950	7077,48	77450,49	345,43	3,04
	Пневмоустановка	АИС180М2-IE2	0,91	0,89	22	5	154	32120	19019,6	65502,06	292,14	2,64
	Подъемно-транспортный механизм	АИС180М2-IE2	0,91	0,89	22	6	154	32120	19133,8	77917,45	347,51	2,66
Маляропокрасочный цех	Аппарат пылеудаления	АИС 112М2-IE2	0,86	0,88	4	34	28	5840	3272,97	87278,95	389,26	2,45
Кислородная станция	Воздушный компрессор	АИС 132М4-IE2	0,89	0,83	7,5	7	52,5	10950	6924,33	28179,68	125,68	2,92

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Компрессорная станция	Компрессоры	АИС 315М 4-IE2	0,95	0,89	132	3	924	192720	112074	241937,11	1079,04	2,57
Заготовительные цеха	Ленточные пилы	АИС 315М 2-IE2	0,95	0,9	132	5	924	192720	110814	409531,20	1826,51	2,53
	Гильотины	АИС 250М 6-IE2	0,92	0,83	37	5	259	54020	33041,8	104891,22	467,81	2,77
Технологические установки, административные корпуса и складские помещения	Циркуляционные насосы системы отопления и ГВС	АИС 112 М2-IE2	0,86	0,88	4	14	28	5840	3345,55	34922,33	155,75	2,52

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Административный корпус	Вентиляционные установки	АИС 132М 4-IE2	0,89	0,83	7,5	12	52,5	10950	6830,41	49435,10	220,48	2,86
Тепловой пункт		АИС 250М 6-IE2	0,92	0,83	37	7	259	54020	34086,1	139537,55	622,34	2,91
Гараж		АИС 250М 4-IE2	0,94	0,86	55	5	385	80300	49780	152599,76	680,59	2,83
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1621808,6	7233,27	–

3.2 Анализ повышения энергоэффективности завода в результате модернизации дуговых печей

Помимо изменения режимов работы и использования более энергоэффективного оборудования печей, к экономии энергоресурсов также приводит снижение тепловых потерь через футеровку.

Элементы футеровки в большинстве случаев выполнены из классических материалов. Для снижения тепловых потерь через футеровку печей необходимо использовать материалы с высоким тепловым сопротивлением. Кроме того, применение материалов с низкими значениями коэффициента теплопроводности позволяет сократить удельные потери тепла при разогреве печи до номинальных температур.

«Использование в качестве огнеупорного слоя среднетемпературных термических печей волокнистых материалов типа шамотно-волокнистых плит ШВП-350 и муллитокремнеземистых плит МКРП-340 значительно (в несколько раз) сокращает удельные потери тепла кладкой печи и время её разогрева до рабочей температуры. Кроме того, такие плиты легко монтировать, что сокращает трудовые затраты на монтаж печи. Недостатком этих огнеупорных материалов является относительно высокая стоимость и сравнительно низкая температура применения, обычно не превышающая 1150 - 1200°C» [6].

На рисунке 18 представлена муфельная печь. В данной печи установлены шамотно-волокнистые плиты (белые стенки). Данные плиты создают огнеупорную камеру, называемую муфелем.



Рисунок 18 – Плиты ШВП-350 в печи

Основные параметры для оценки эффективности внедряемых материалов представлены в таблице 6. Коэффициенты теплопроводности в большей степени определяются температурой применения.

Таблица 6 – Сравнение характеристик изоляционных материалов

Изоляционный материал	Плотность	Теплопроводность при 1200°C	Температура использования
Единица измерения	кг/м ³	Вт/м ²	°C
Базальтовое волокно	110-220	305	-260...+930
Кварцевое волокно	110-180	321	+1100
Каолиновое волокно	250-350	347	+1300

Используя данные таблицы 6, сравним показатели работы печей с различными футеровками.

Только каолиновое волокно соответствует требуемой температуре эксплуатации.

Проведем расчет футеровки и сравним показатели с существующей футеровкой.

Площадь рабочей поверхности печи:

$$S = 2(ab + bc + ac), \quad (10)$$

$$S = 2(2 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1) = 16 \text{ м}^2.$$

где a, b, c – длина, ширина и высота рабочей поверхности печи соответственно, м.

Потери через футеровку печи:

$$Q_{\text{пот}} = q \cdot S \quad (11)$$

$$Q_{\text{пот}} = 396 \cdot 16 = 6,33 \text{ кВт}$$

где q – удельные тепловые потери футеровки, Вт/м².

Средней расход электроэнергии за цикл:

$$P_{\text{ц}} = Q_{\text{пот}} \cdot t \quad (12)$$

$$P_{\text{ц}} = 6,33 \cdot 3600 = 22788 \text{ кВтч}$$

где t – длительность цикла нагрева, ч.

Удельный расход электроэнергии:

$$P_{\text{уд}} = \frac{P_{\text{ц}}}{m} \quad (13)$$

где m – средняя масса расплавляемого металла, кг.

Средний расход электроэнергии за год:

$$P_{\text{ср}} = nP_{\text{ц}} \quad (14)$$

где n – количество циклов плавления за год.

Затраты на электроэнергию за год:

$$Z_{\text{ср}} = P_{\text{ср}}T \quad (15)$$

Занесем полученные результаты в таблицу 7.

Таблица 7 – Техничко-экономический расчет монтажа футеровки дуговых печей

Параметры вида футеровки	Единица измерения	Традиционный вид футеровки	Футеровка с использованием волокнистых материалов
1	2	3	4
Средняя масса расплавляемого металла	кг	31200	31200
Рабочая температура печи	°С	1150	1150
Габариты печи (ДхШхВ)	мм	2000х2000х1000	
Площадь поверхности	м ²	16	16

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
Удельные тепловые потери футеровки	Вт/м ²	396	347
Потери через футеровку	кВт	6,33	5,55
Удельный расход электроэнергии	кВтч/кг	0,73	0,64
Средняя величина потерь электроэнергии за цикл	кВтч	22778	19968
Объем загрузки печи	л	4000	4000
Количество циклов плавления в год	шт	72	72
Средняя величина потерь электроэнергии за год	МВтч	1639,87	1437,7
Тариф электроэнергии	руб/кВтч	4,46	4,46
Затраты на электроэнергию за год	тыс. руб	7313,82	6412,14

При использовании футеровки для печей плавильного и термообрубного участка удалось добиться годовой экономии в 202,17 МВтч (902 тысячи рублей). Стоимость футеровки печей составляет 2255 тыс. рублей. В соответствии с этим срок окупаемости футеровки всех печей составляет примерно 2 года и 5 месяцев.

Также следует учитывать тот момент, что у дуговых печей удельный расход электроэнергии повышается при сокращении производительности в режиме расплавления металла (рисунок 19). Данное явление связано с тем, что тепловые потери, которые не зависят от производительности печи, разделяются на меньший объем металла.

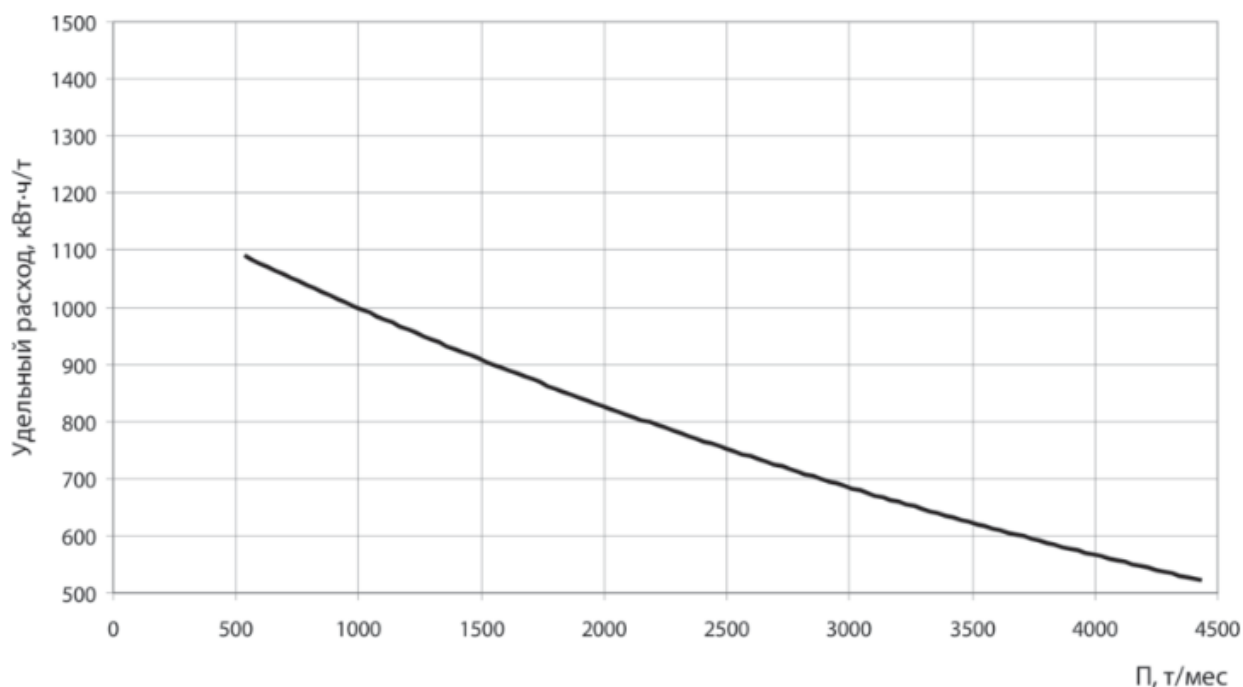


Рисунок 19 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от производительности дуговых печей (режим расплавления)

Поскольку для традиционного вида футеровки удельный расход электроэнергии составляет 730 кВтч/т, а для футеровки из волокнистых материалов 640 кВтч/т, то при модернизации футеровки производительность дуговой печи можно повысить на одну тонну в месяц.

Поскольку рассчитываемые печи являются мощными электроприемниками, то их подключение осуществляется через электропечные трансформаторы к шинам 10 кВ.

«Электропечные трансформаторы ТЭСК обеспечены сигнальными термометрами и газовой защитой. Защита дифференциальная на печных трансформаторах не используется из-за разных характеристик трансформаторов тока на сторонах высшего и низшего напряжения. Устройства релейной защиты должны предусматриваться на линиях, питающих электропечные трансформаторы, и в самих трансформаторах.

Трансформаторы электропечные выпускаются с большим коэффициентом трансформации и высокими токами на стороне НН,

предусматривающими дополнительное внедрение измерительных трансформаторов на токи до 25 кА. Регулировка напряжения в ходе технологического процесса осуществляется с помощью переключения секций обмотки ВН.

Трансформаторы ТЭСК и ОЭСК для печей большой и средней мощности дополняются устройствами РПН. Изменение схемы соединения обмоток ВН трансформатора с треугольника на звезду также способствует изменению напряжения на печи.

Трансформаторы дуговых электропечных установок изготавливаются с повышенной динамической стойкостью. Так использование трансформатора с большим реактивным сопротивлением ограничивает ток эксплуатационного короткого замыкания примерно до трехкратного значения номинального тока. В случае, когда этого недостаточно, наряду с трансформатором включают реактор.

Трансформаторы классифицируются по: виду переключений, количеству фаз, виду охлаждения, климатическому исполнению, типо-вой мощности» [22].

Увеличение удельного расхода печных трансформаторов от 400 до 750 кВА/т снижает время плавления вдвое, а расход электроэнергии дуговой печи на 11%. Рост удельного расхода до 1000 кВА/т уже не приносит такого же эффекта. Время плавления сокращается на 28%, а удельный расход электроэнергии на 3%.

Расчет оптимальной мощности печных трансформаторов должен осуществляться исходя из условий их эксплуатации, поскольку от этого зависит технологическая и экономическая целесообразность внедрения трансформаторов дуговых печей.

Значения потерь электропечных трансформаторов определяются силой тока и конструктивными особенностями вторичного токопровода. К участкам вторичного токопровода дуговых сталеплавильных печей относятся:

- трансформатор с выводами;

- шинный пакет;
- гибкие кабели;
- подвижные башмаки;
- токоведущие трубошины электродержателей;
- электродержатели;
- контактные соединения;
- графитированные электроды.

«Для уменьшения длины гибких водоохлаждаемых кабелей целесообразно такое взаимное расположение печи и трансформатора, при котором выводы средней фазы трансформатора или трансформатор в целом сдвинуты относительно сливного носка, что сокращает длину кабелей на 0,8-1 м» [4].

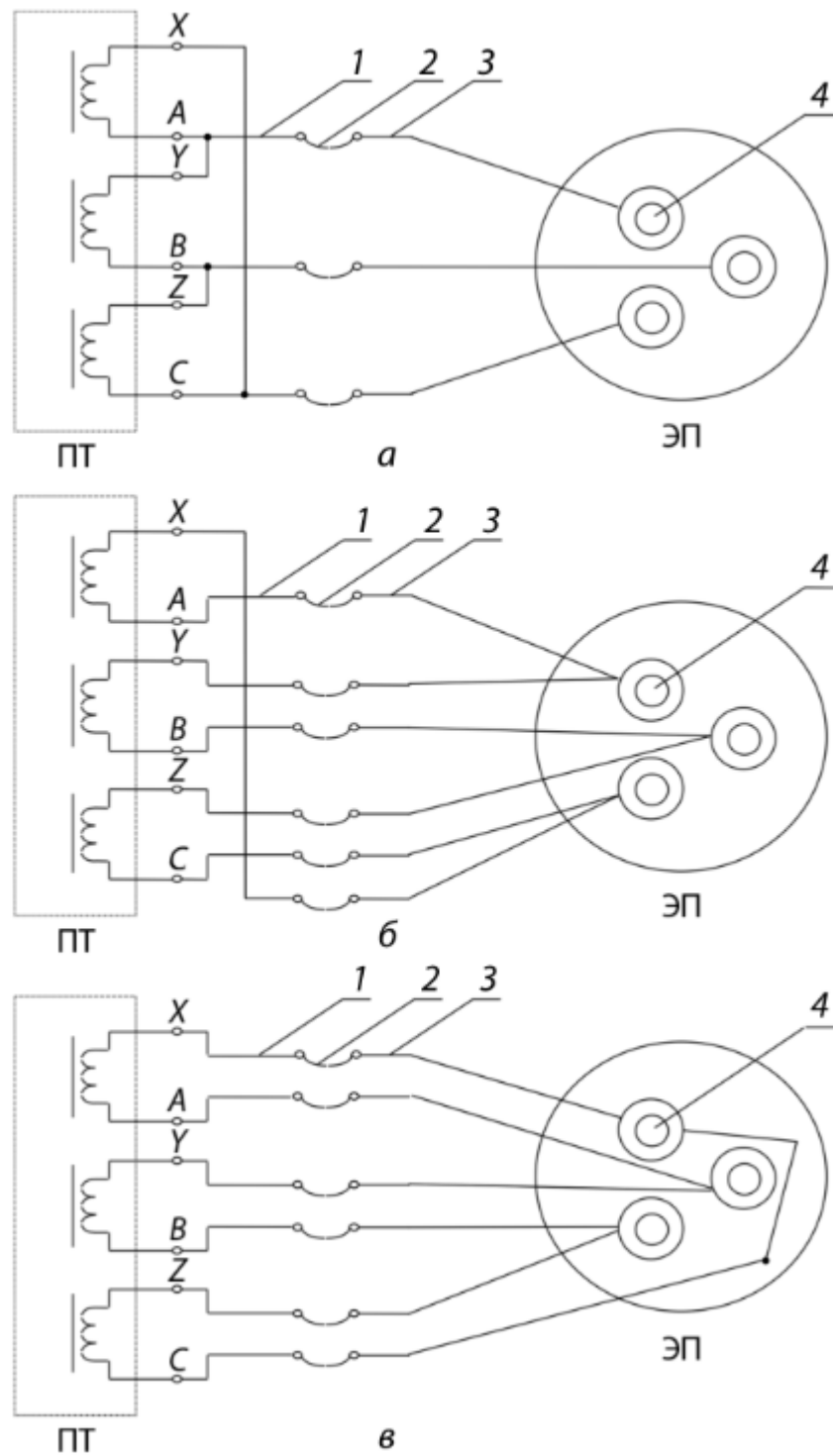
Длина гибких кабелей зависит также от:

- расстояния между дуговой сталеплавильной печью и трансформатором;
- высоты подъема электродов;
- траектории перемещения подвижных башмаков электродержателей при наклоне печи для слива металла;
- радиуса опорных сегментов механизма наклона;
- конфигурации откосов ванны (необходимо для задания минимального угла наклона).

Для снижения потерь электрической энергии следует уменьшить длину участков вторичного токопровода и использовать оптимальную площадь поперечного сечения его элементов.

Исходя из вышесказанного, для снижения потерь также проведем расчет схемы короткой сети для печей металлургического предприятия.

Схемы короткой сети представлены на рисунке 20.



а – треугольник на шинах трансформатора, звезда на электродах; б – несимметричный треугольник на электродах; в – симметричный треугольник на электродах с четвертым рукавом

1 – ошиновка трансформатора; 2 – гибкий кабель; 3 – токоподвод; 4 – электрод

Рисунок 20 – Схемы короткой сети

На практике схема короткой сети оказывает существенную роль на КПД, коэффициент мощности, активное и индуктивные сопротивления дуговой сталеплавильной печи.

В качестве кабелей применяются КСВ 400 для питания дуговых печей ДСП 100 цехов рассматриваемого предприятия. Среднее удельное активное сопротивление составляет в среднем $0,13 \cdot 10^{-4}$ Ом, а индуктивное – $0,32 \cdot 10^{-4}$ Ом.

Расчет сопротивлений фазы короткой сети проведем по формулам:

$$r_{ф.к.с} = r_{уд} \cdot l_{ф.к.с} \quad (16)$$

$$x_{ф.к.с} = x_{уд} \cdot l_{ф.к.с} \quad (17)$$

где $r_{уд}$, $x_{уд}$ – удельное активное и индуктивное сопротивления, Ом.

Поскольку величина длины фазы отличается, то сопротивление для каждой фазы также отличаются.

Определим активные и индуктивные сопротивления схем коротких сетей и занесем в таблицу 8.

Таблица 8 – Сопротивления схем коротких сетей

Сопротивление короткой сети		Схема короткой сети		
Сопротивление	Фаза	Схема «а»	Схема «б»	Схема «в»
1	2	3	4	5
Активное сопротивление, 10^{-4} Ом	Фаза А	12,25	9,6	8,1
	Фаза В	7,25	5,4	7,95
	Фаза С	8,55	9,6	8,6
	Среднее из сопротивлений трех фаз	9,35	8,2	8,25

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5
Индуктивное сопротивление, 10^{-4} Ом	Фаза А	32,2	26,2	21,4
	Фаза В	21,0	19,3	20,0
	Фаза С	33,0	26,2	22,4
	Среднее из сопротивлений трех фаз	28,8	23,9	21,3

По таблице 8 мы видим, что схема «б» и схема «в» снижает среднее активное сопротивление печной установки примерно в 1,2 и в 1,5 раза соответственно, а индуктивное сопротивление в 1,1 и 1,4 раза соответственно.

Длительность плавления снижается от 10 до 15%, а удельный расход электроэнергии на 9-11 кВтч/т.

Выводы по третьему разделу

Для снижения потерь электрической энергии были установлены двигатели класса IE2. Потери снижены на 2180 МВтч/год при работе предприятия в одну смену. Расход электроэнергии определялся исходя из неполной нагрузки электродвигателей.

Поскольку технологическое оборудование работает при неполной нагрузке, то были установлены частотные преобразователи, снизившие потери электроэнергии на 1622 МВтч/год.

Для снижения потерь электроэнергии на плавку металла в дуговых печах была установлена футеровка с повышенным тепловым сопротивлением. Годовая экономия составляет 202,17 МВтч. Срок окупаемости футеровки всех печей составляет примерно 2 года и 5 месяцев. Поскольку короткая схема треугольника на шинах трансформатора и звезды на электродах изменена на симметричный треугольник на электродах с четвертым рукавом, то удалось снизить активное сопротивление в 1,5 раза, а индуктивное – в 1,4 раза, а также уменьшить удельный расход электроэнергии на 9-11 кВтч/т.

Заключение

В ходе исследования была проанализирована энергетическая стратегия РФ, был проведен анализ существующей законодательной и нормативно-правовой базы.

Был проведен анализ энергетической эффективности промышленного сектора РФ, на основании которого мы определили, что сфере промышленности не уделяется должного внимания в области энергоэффективности.

Одной из крупных областей промышленности является металлургия.

В качестве исходных данных объекта исследования являются производственные цеха и помещения, а также их потребление. Проведен анализ потребления металлургического завода для того, чтобы определить направления, в которых будут проведены энергосберегающие мероприятия.

Электроэнергия в значительной степени используется для работы электроприводов насосов, станков, технологических установок, а также на питание дуговых печей.

Поэтому для повышения энергетической эффективности исследуемого объекта были проанализированы различные способы повышения энергетической эффективности, используемые в других областях промышленности. На основании данного исследования были использованы следующие энергосберегающие мероприятия:

- для снижения потерь электрической энергии были установлены двигатели класса IE2. Потери снижены на 2180 МВтч/год при работе предприятия в одну смену. Срок окупаемости при внедрении электрических двигателей класса IE2 составляет не более чем 3 года при неполной нагрузке.
- поскольку технологическое оборудование работает при неполной нагрузке, то были установлены частотные преобразователи,

снизившие потери электроэнергии на 1622 МВтч/год. Средний простой срок окупаемости составляет примерно 3 года.

– для снижения потерь электроэнергии на плавку металла в дуговых печах была установлена футеровка с повышенным тепловым сопротивлением. Годовая экономия составляет 202,17 МВтч (902 тысячи рублей). Срок окупаемости футеровки всех печей составляет примерно 2 года и 5 месяцев.

– короткая схема треугольника на шинах печного трансформатора и звезды на электродах изменена на симметричный треугольник на электродах с четвертым рукавом, что позволило снизить активное сопротивление в 1,5 раза, а индуктивное – в 1,4 раза, а также уменьшить удельный расход электроэнергии на 9-11 кВтч/т

Научная новизна работы заключается в том, что в ходе проведения исследования были применены современные методики по повышению энергетической эффективности рассматриваемого металлургического завода, которые объединены в одном объекте исследования.

Практическая значимость работы заключается в том, что внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности предприятия металлургической промышленности позволяет снизить затраты на производство металлоконструкций.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. 415 с.
2. Артюшкин В.Н. Энергосбережение при эксплуатации магистральных насосных агрегатов: монография. Москва, Вологда. Инфра-Инженерия, 2020. 112 с.
3. Афонин А. М. Энергосберегающие технологии в промышленности: учебное пособие. 2-е изд. Москва: ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. 271 с.
4. Вагин Г.Я. Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве : учебник. 2-е изд. испр. и доп. Москва: ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. 254 с.
5. Галунин С.А., Ситников М.А., Лобович А.З., Дмитроченко А.А., Тенденции и новые вызовы в области энергоэффективности электрических машин / Международная научно-практическая конференция «Развивая энергетическую повестку будущего» для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. Препринт сборника докладов. Санкт-Петербург. 10 - 11 декабря, 2021 г. СПб.: Невская Типография, ООО «Добрые коммуникации», СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 30-34.
6. Герцык С.И., Рапацевич В.К. Современные принципы проектирования промышленных печей / Технические науки – от теории к практике. АНС «СибАК». №3(63), 2017. С. 47-56.
7. Жук В.Л. Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях: учебное пособие под ред. проф. А.А. Троянского. Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 212 с.
8. Каржавин В.В., Каменских С.Ф. Краны машиностроительных предприятий. [Электронный ресурс]: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. 88 с. URL: https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/18358/1/978-5-8050-0345-6_2008.pdf (дата обращения 02.08.2021).

9. Кудинов А. А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения: М.: ИНФРА-М, 2021. 320 с.
10. Куликова Л. В. Общая энергетика: учебное пособие. 2-е изд. перераб. – Москва, Берлин : Директ-Медиа, 2020. 178 с.
11. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 г. N 1523-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения 01.04.2021).
12. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей: учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 274 с.
13. Преобразователи частоты позволяют снизить энергопотребление и повысить эффективность холодильных машин [Электронный ресурс]: Официальный сайт Danfoss. URL: <https://drives.ru/stati/preobrazovateli-chastoty-pozvolyayut-snizit-energopotreblenie-i-povysit-effektivnost-holodilnyh-mashin/> (дата обращения 02.08.2021).
14. Привод компрессоров [Электронный ресурс]: интернет-ресурс. URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/holodilnye-ustanovki/privod-kompressorov.shtml> (дата обращения 02.08.2021)
15. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. Справочно-правовая система «Консультант Плюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/ (дата обращения 01.04.2021).
16. Протасевич А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 286 с.
17. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс]: Руководящий технический материал принятый

Тяжпромэлектропроект от 30.06.1992. URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 01.04.2021).

18. Ручкина Г. Ф. Энергоснабжение и энергоэффективность: актуальные проблемы правового регулирования: монография. Москва: ИНФРА-М, 2022. 201 с.

19. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2022. 336 с.

20. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция [Электронный ресурс]: Строительные нормы и правила 41-03-2003 (с Изменением N 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200091050/> (дата обращения 01.04.2021).

21. СП 50.13330.2012 Тепловая защиты зданий. Актуализированная редакция [Электронный ресурс]: Строительные нормы и правила 23-02-2003 (с Изменением N 1). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения 01.04.2021).

22. Трансформаторы электропечные [Электронный ресурс]: Официальный сайт поставщика электротехнического оборудования ОАО «Электротермосвар». URL: <http://www.electrotermosvar.ru/termsiya/transformatory-elektropechnye.html> (дата обращения 14.07.2022).

23. Утверждена энергетическая стратегия Российской Федерации [Электронный ресурс]: Официальный сайт Министерства энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/18038> (дата обращения 01.04.2021).

24. Федеральный закон об энергосбережении – 10 лет в действии [Электронный ресурс]: Региональная энергетика и энергосбережение: РЭЭ. URL: <https://energy.s-kon.ru/zdorovye-glavniy-prioritet-kompanii-enel-rossiya-2-2-2-2-2/> (дата обращения 01.04.2021).

25. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]:

Федеральный закон от 23.11.2009 №261 (ред. от 26.01.2020). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения 01.04.2021).

26. Энергоэффективность электродвигателей [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании ООО «УЭСК». URL: <https://uesk.org/stati/energoeffektivnost-elektrodvigatlej/> (дата обращения 14.07.2022).

27. Benthaus M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energy, Sustainability and Society* Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

28. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. *IEEE Access* Vol. 8. 2020. p.673-684.

29. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. *Energies* Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

30. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. *Chemical Engineering Transactions* vol.56, 2018. p.259-264.

31. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low-carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. *Energy Conversion and Economics*. 2020. p.34-44.