

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 Энергосбережение и повышение энергетической эффективности предприятия по
производству холодильного оборудования

Обучающийся

И.В. Вербик

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2025

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ существующей ситуации в области энергосбережения	6
1.1 Анализ нормативно-правовой базы	6
1.2 Анализ схемы электроснабжения завода.....	8
2 Повышение энергетической эффективности на промышленных предприятиях	25
2.1 Обзор существующих решений.....	25
2.2 Энергосбережение в электроприводах	26
2.3 Повышение энергоэффективности использования тепловой энергии ..	31
2.4 Утилизация тепловой энергии отработавших газов.....	37
3 Техничко-экономический расчет и результат внедрения энергосберегающих мероприятий	41
3.1 Результат снижения расхода тепловой энергии	41
3.2 Результат снижения расхода электрической энергии	47
Заключение	68
Список используемых источников.....	70

Введение

Одним из ключевых направлений развития экономики РФ является повышение энергетической эффективности промышленных предприятий.

Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р, экономика РФ обладает большим потенциалом для повышения энергоэффективности [10],[13].

«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» [10].

Главным вектором развития энергоэффективности предприятий является государство, которое формирует необходимую нормативно-правовую базу на различных уровнях власти, а также определяет принципы и

требования к внедряемым мероприятиям по снижению потерь и затрат в различных отраслях экономики.

Актуальность исследования обуславливается активным строительством промышленных объектов, где требуется создать условия микроклимата согласно действующим нормативам и правилам. Холодильное оборудование, изготавливаемое на рассматриваемом объекте исследования используется в различных типах зданий и сооружений, а также производственных площадках: металлургических, химических, сельскохозяйственных предприятиях, а также в общественных зданиях и сооружениях.

В соответствии с этим сформулирована следующая тема магистерской диссертации: «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности предприятия по производству холодильного оборудования».

Объектом исследования является предприятие по производству холодильного оборудования.

Целью магистерской диссертации является повышение энергоэффективности производственного объекта.

«Достижению поставленной цели могут препятствовать нижеперечисленные проблемы:

- скудность информативной базы относительно действующих решений по повышению энергетической эффективности;
- недостаточное количество контрольных и измерительных приборов, установленных на рассматриваемой производственной площадке;
- низкий уровень мотивации по внедрению энергоэффективных проектов, отсутствие требуемых знаний и опыта для реализации мероприятий;
- отсутствие требуемого финансирования, значительный период окупаемости инвестиций по снижению потерь мероприятий на объекте исследования.

Для решения вышеперечисленных проблем важно проводить организационные, технологические, а также финансово-экономические мероприятия» [15].

Учитывая препятствия для достижения требуемого результата, следует выполнить следующие задачи:

- проанализировать состояние проектируемого предприятия по производству холодильного оборудования;
- провести исследование существующих решений по снижению потерь на предприятиях различного типа;
- рассчитать технико-экономический эффект внедрения рассматриваемых мероприятий.

«Практическая новизна диссертации заключается том, что используемые мероприятия и способы снижения электроэнергетических потерь, рассматриваемого предприятия по производству холодильного оборудования, могут быть применены на аналогичных промышленных объектах» [15].

«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)» [15].

1 Анализ существующей ситуации в области энергосбережения

1.1 Анализ нормативно-правовой базы

«Для стимулирования проведения энергосберегающей политики государство использует множество законодательных и нормативно-правовых решений (рисунок 1)» [15].

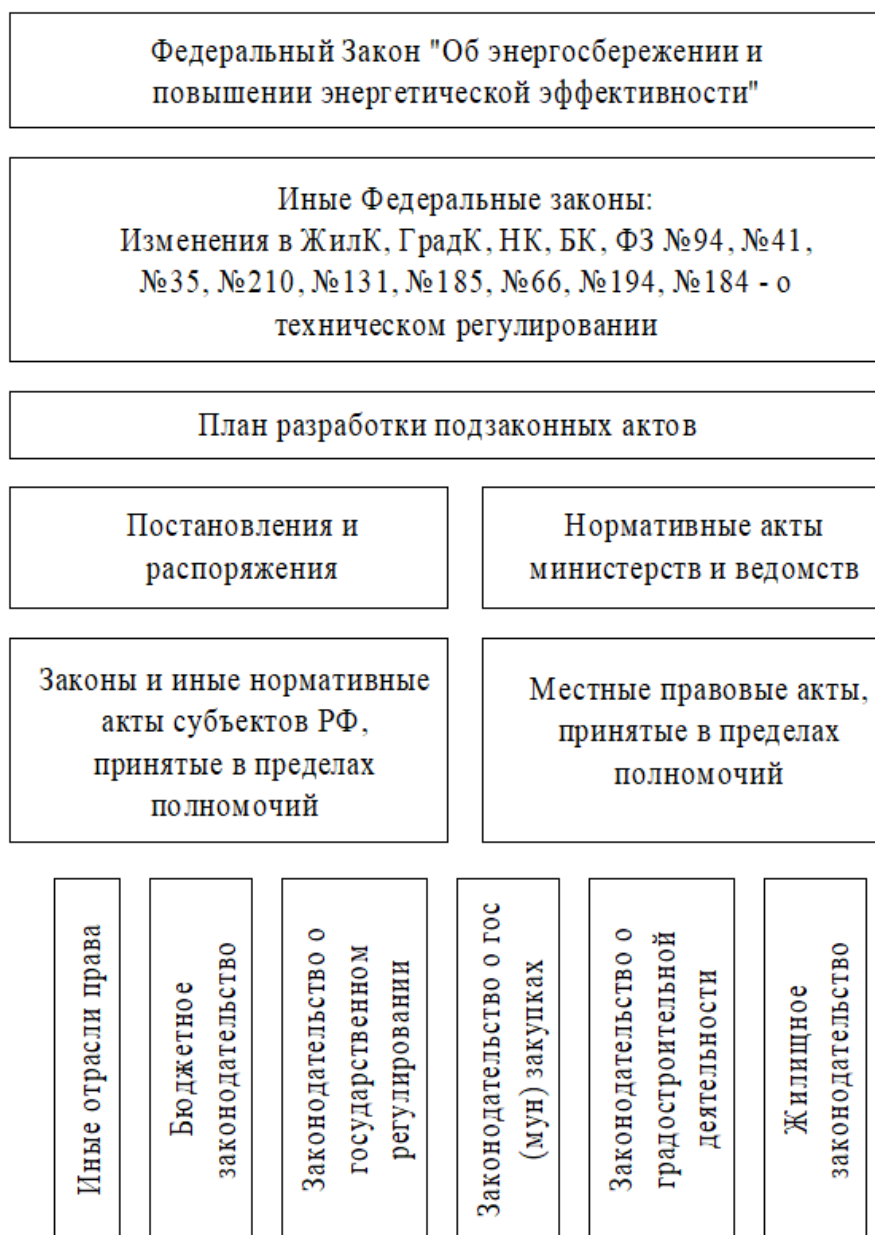


Рисунок 1 – Законодательная и нормативно-правовая база в области энергосбережения

«Федеральные законы в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности действуют в нашей стране уже более 20 лет» [21],[22].

«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» [23].

«Здания и сооружения промышленного назначения обладают потребляют наиболее крупную долю энергетических ресурсов. Тем не менее, контролю потребления энергоносителей не уделяется необходимого внимания, на многих промышленных площадках требуется внедрение энергосберегающих мероприятий. В большинстве случаев, соблюдение требований правовой и законодательной базы в области энергосбережения остается на контроле у профильных органов управления. Энергоаудит в подавляющем большинстве случаев проводится на немногих объектах промышленного назначения, а результаты внедрения энергосберегающих мероприятий не разглашаются» [15],[26].

1.2 Анализ схемы электроснабжения завода

Основным «источником питания потребителей электроэнергии являются газопоршневые генераторные установки G3512E (рисунок 2), резервным – внешние электросети» [15].

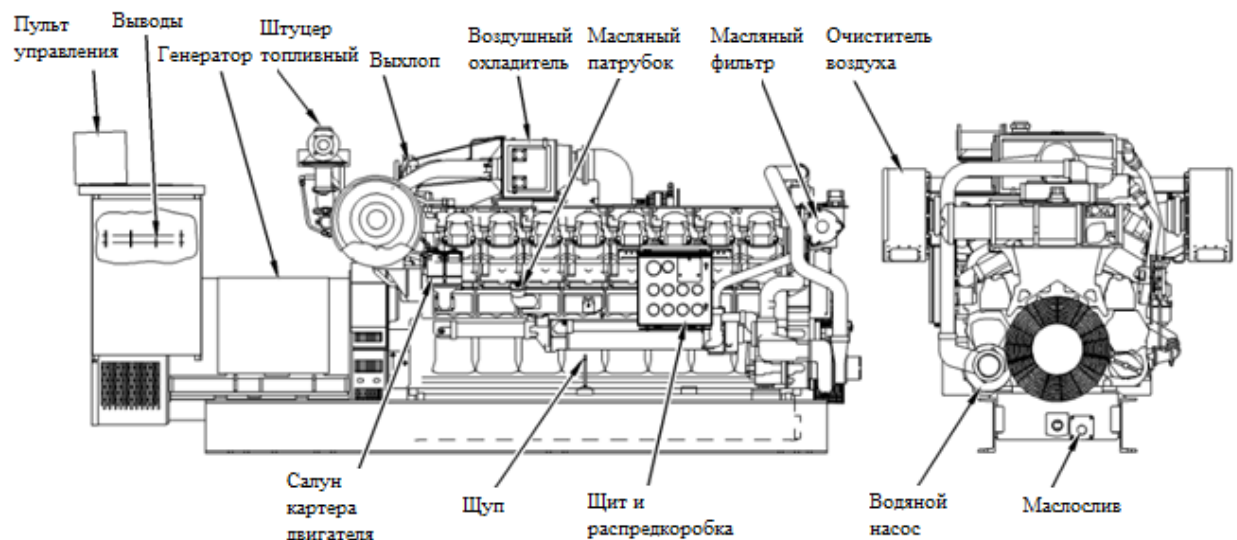


Рисунок 2 – Газопоршневая генераторная установка G3512E

«В качестве второго независимого источника питания, используются внешние электрические сети для обеспечения стабильного питания потребителей завода по производству холодильного оборудования» [15] (рисунок 3). В качестве силового трансформатора используется два трансформатора ТМГ 1600/10.

«Внутризаводские сети выполнены по смешанной схеме. Отдельные здания и цеха получают электроэнергию по кабельным линиям, а прилегающие к ТП, будут запитаны по магистральным шинопроводам» [6].

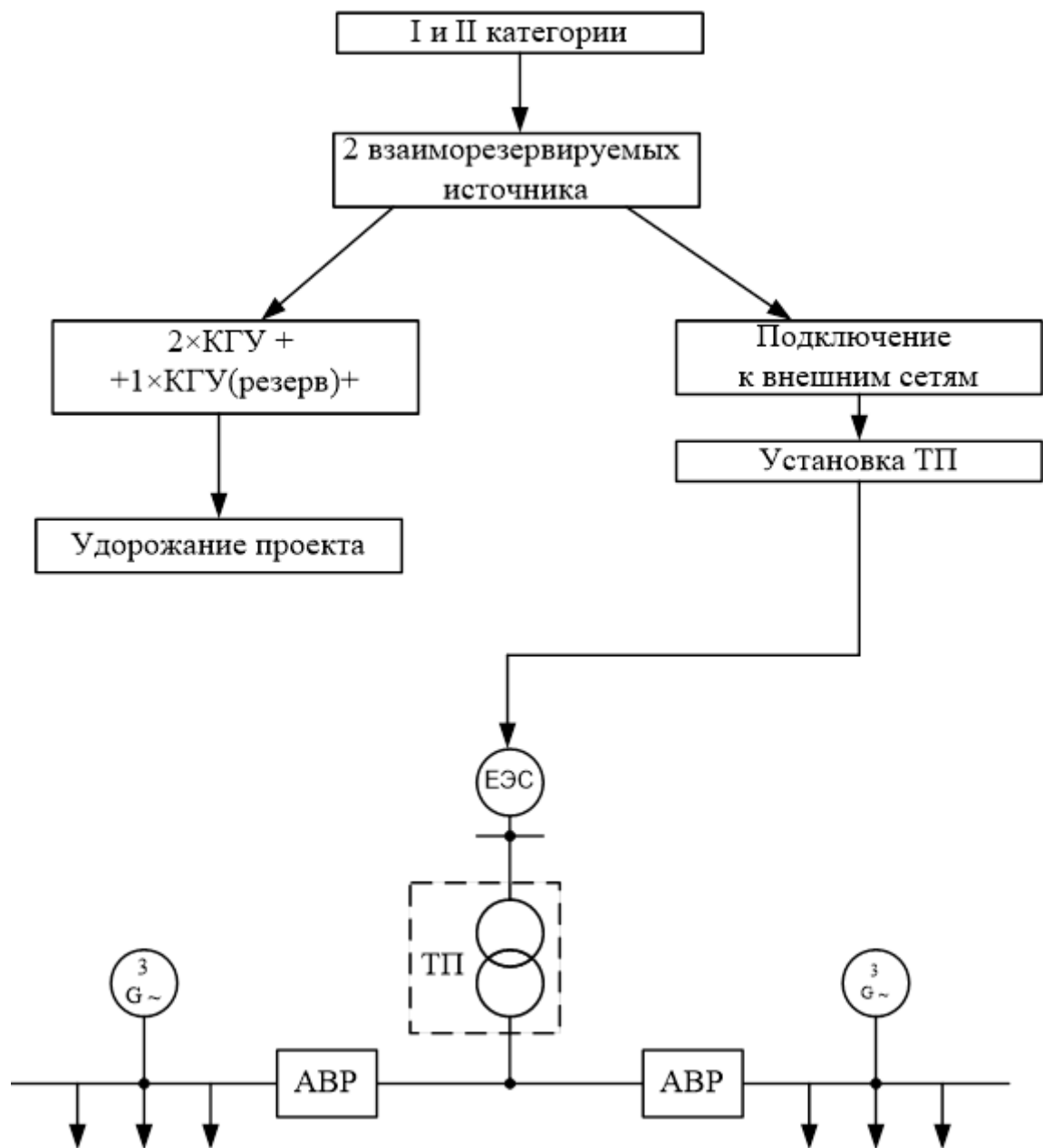


Рисунок 3 – Схема электроснабжения завода по изготовлению холодильного оборудования

Представим планы генераторной, ТП-ВРУ в разных видах (рисунки 4, 5).

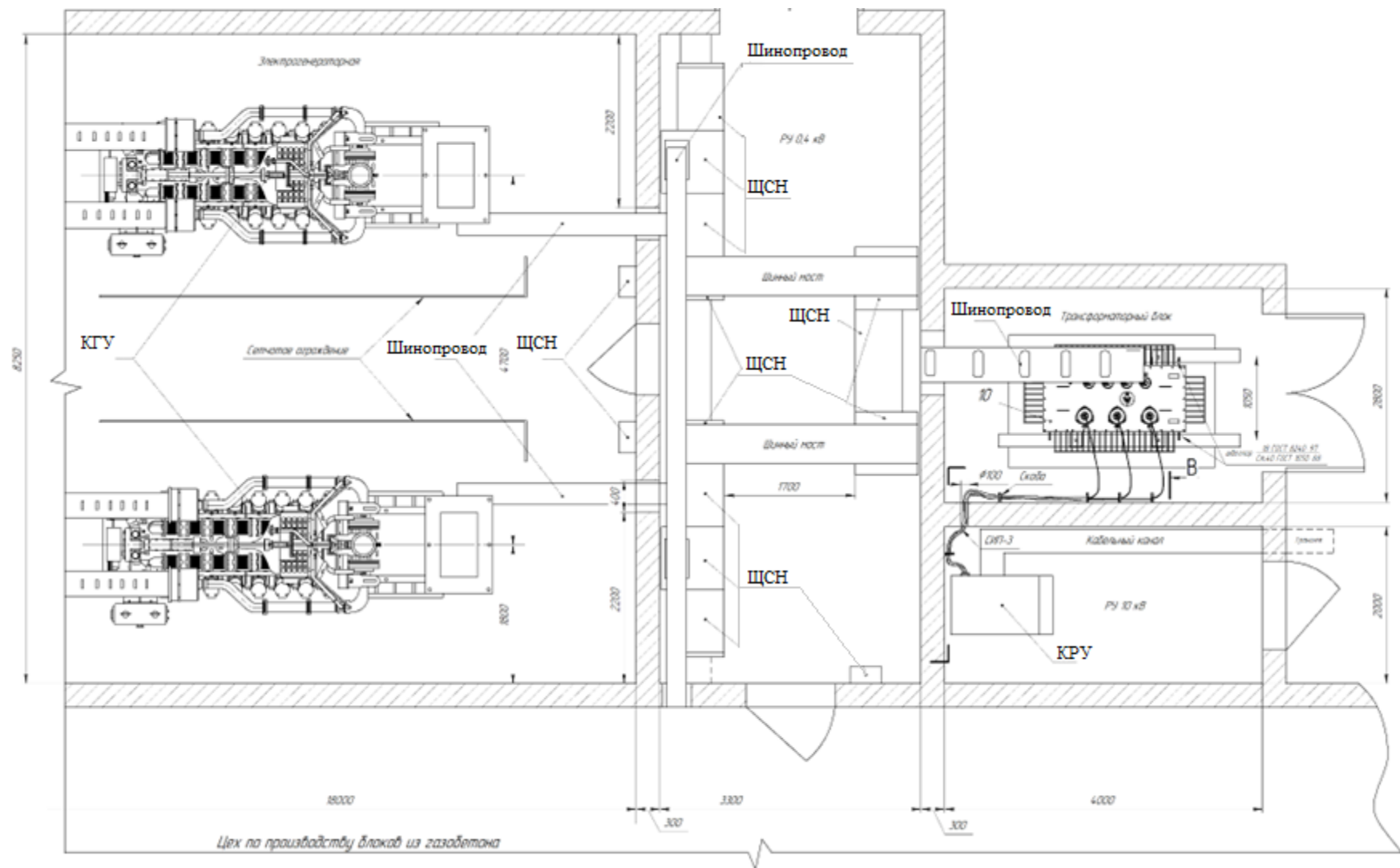


Рисунок 4 – План размещения оборудования в генераторной, ТП-ВРУ

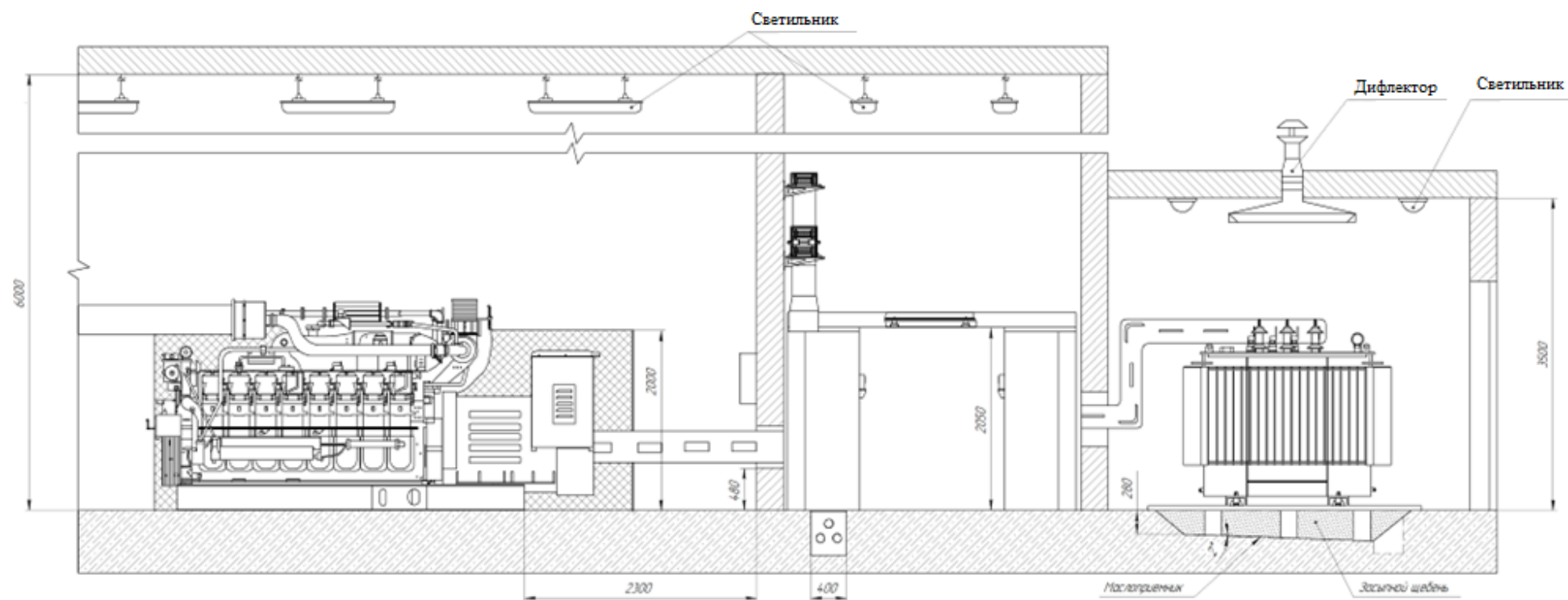


Рисунок 5 – Размещение оборудования генераторной, ТП-ВРУ на виде спереди, а также подвес светильников

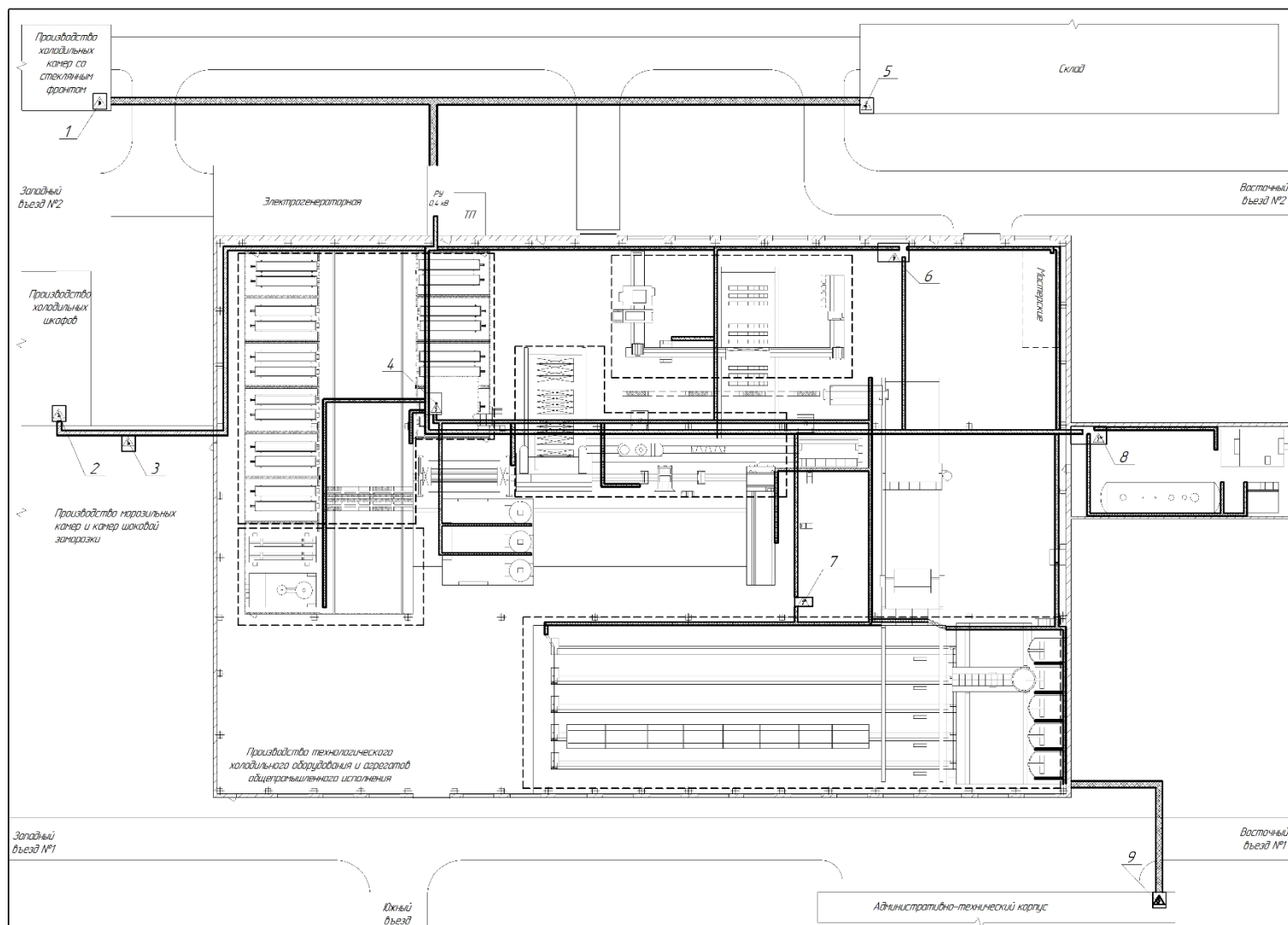


Рисунок 6 – План завода

Электрические нагрузки, представленные далее, рассчитаны по методу упорядоченных диаграмм.

«Крупнейшим, как с точки зрения площади, так и с точки зрения установленной мощности, является цех по производству промышленных холодильных установок и агрегатов, а также холодильного оборудования общего исполнения. Расчет электрических нагрузок данного цеха представлен в таблицах 1, 2 и 3.

Цех по производству промышленных холодильных установок и агрегатов и холодильного оборудования общего исполнения разбит на следующие установки» [6]:

- производство холодильного и морозильного оборудования промышленного назначения;
- производство промышленных чиллеров, фанкойлов;
- производство металлоконструкций;
- сборочно-монтажный участок.

Первые две установки включают в себя множество участков, на которых работает технологическое оборудование (электроприемники). Расчет нагрузок по данным установкам также представлен в таблицах 1-3.

Если рассматривать завод в целом, то он включает в себя (таблица 4):

- производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленного исполнения;
- производство морозильных камер, камер шоковой заморозки;
- производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей;
- производство холодильных камер со стеклянным фронтом;
- склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов;
- администрация и заводоуправление.

Таблица 1 – «Электрические нагрузки электроприемников наиболее мощного цеха (производства промышленных холодильных установок и агрегатов, а также холодильного оборудования общего исполнения)» [26]

ЭП	Наименование группы ЭП	P					$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{макс}}$	n
		кВт							
Установка 1. Производство холодильного и морозильного оборудования промышленного назначения							1	54	21
1-4	Производственный участок компрессорного оборудования	54	48	40	–	31	31	54	4
5-6	Производственный участок запорной и регулирующей арматуры	29	40	–	–	–	29	40	2
7-11	Производственный участок изготовления испарителей тепловых машин	20	12	7	7	8	7	20	5
12-13	Производственный участок холодильных конденсаторов	–	–	–	26	9	9	26	2
14-16	Приточная и вытяжная вентиляция, дымоудаление	45	35	–	–	38	35	45	3
17	Производственный участок кранов шаровых	–	–	–	–	10	10	10	1
18-21	Участок монтажа клапанов и КИП	–	2	1	2	1	1	2	4

Продолжение таблицы 1

ЭП	Наименование группы ЭП	P					P _{мин}	P _{макс}	n
		кВт							
Установка 2. Производство промышленных чиллеров, фанкойлов							4	64	14
22-23	Производственный участок трехходовых клапанов	22	17	—	—	—	17	22	2
24-25	Производственный участок электродроссельных и механических заслонок	36	15	—	—	—	15	36	2
26-28	Ресиверный участок	—	—	64	48	34	34	64	3
29-30	Производственный участок теплообменников и охладителей	—	—	—	33	12	12	33	2
31-32	Производственный участок фильтрующих элементов	16	8	—	—	—	8	16	4
33	Производственный участок для подключения автоматики	4	—	—	—	—	4	4	1
Установка 3. Производство металлоконструкций							2	44	16
34-36	Сварочный агрегат	36	—	—	15	9	9	36	3
37-38	Токарный станок	44	15	—	—	—	15	44	2

Продолжение таблицы 1

ЭП	Наименование группы ЭП	P					$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{макс}}$	n
		кВт							
39-41	Шлифовальный станок	31	18	–	–	10	10	31	3
42-43	Разрезной станок	24	–	–	–	6	6	24	2
44	Фрезерный станок	–	–	–	–	5	5	5	1
45-49	Мастерская	6	4	5	3	2	2	6	5
Установка 4. Сборочно-монтажный участок							12	68	5
50-51	Пневматическая установка и электрический инструмент для сборки оборудования	68	16	–	–	–	16	68	2
52-53	Сварочный агрегат	44	–	12	–	–	12	44	2
54	Слесарная и мастерская	–	–	14	–	–	14	14	1
Итого							1	68	56

Таблица 2 – Нагрузки групп электроприемников наиболее загруженной смены производства промышленных холодильных установок и агрегатов, а также холодильного оборудования общего исполнения

ЭП	Наименование группы ЭП	n	P_y	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$S_{см}$
			кВт				кВт	квар	кВА
Установка 1. Производство холодильного и морозильного оборудования промышленного назначения		21	465	0,65	0,71	0,98	299,99	294,47	420,36
1-4	Производственный участок компрессорного оборудования	4	173	0,75	0,69	1,05	129,75	136,24	188,04
5-6	Производственный участок запорной и регулирующей арматуры	2	69	0,56	0,78	0,8	38,64	30,14	49,54
7-11	Производственный участок изготовления испарителей тепловых машин	5	54	0,54	0,8	0,75	29,16	21,87	36,45
12-13	Производственный участок холодильных конденсаторов	2	35	0,6	0,75	0,88	21	15,75	28
14-16	Приточная и вытяжная вентиляция, дымоудаление	3	118	0,6	0,65	1,17	70,8	82,84	108,92
17	Производственный участок кранов шаровых	1	10	0,59	0,65	1,17	5,9	3,84	9,08
18-21	Участок монтажа клапанов и КИП	4	6	0,79	0,78	0,8	4,74	3,79	6,08

Продолжение таблицы 2

ЭП	Наименование группы ЭП	n	P_y	$K_{и}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$S_{см}$
			кВт				кВт	квар	кВА
Установка 2. Производство промышленных чиллеров, фанкойлов		14	309	0,65	0,78	0,81	199,78	162,78	257,7
22-23	Производственный участок трехходовых клапанов	2	39	0,69	0,68	1,08	26,91	29,06	39,57
24-25	Производственный участок электродрессельных и механических заслонок	2	51	0,56	0,76	0,86	28,56	24,56	37,58
26-28	Ресиверный участок	3	146	0,59	0,75	0,88	86,14	75,8	114,85
29-30	Производственный участок теплообменников и охладителей	2	45	0,77	0,87	0,57	34,65	19,75	39,83
31-32	Производственный участок фильтрующих элементов	4	24	0,84	0,85	0,62	20,16	12,5	23,72
33	Производственный участок для подключения автоматики	1	4	0,84	0,95	0,33	3,36	1,11	3,54
Установка 3. Производство металлоконструкций		16	233	0,71	0,76	0,85	166,29	141,78	218,53
34-36	Сварочный агрегат	3	60	0,63	0,73	0,94	37,8	35,53	51,78
37-38	Токарный станок	2	59	0,79	0,76	0,86	46,61	40,08	61,33

Продолжение таблицы 2

ЭП	Наименование группы ЭП	n	P_y	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$S_{\text{см}}$
			кВт				кВт	квар	кВА
39-41	Шлифовальный станок	3	59	0,77	0,75	0,88	45,43	39,98	60,57
42-43	Разрезной станок	2	30	0,74	0,81	0,72	22,2	15,98	27,41
44	Фрезерный станок	1	5	0,73	0,74	0,91	3,65	3,32	4,93
45-49	Мастерская	5	20	0,53	0,84	0,65	10,6	6,89	12,62
Установка 4. Сборочно-монтажный участок		5	154	0,64	0,88	0,54	99,12	53,25	112,52
50-51	Пневматическая установка и электрический инструмент для сборки оборудования	2	84	0,76	0,94	0,36	63,84	22,98	67,91
52-53	Сварочный агрегат	2	56	0,49	0,75	0,88	27,44	24,15	36,59
54	Слесарная и мастерская	1	14	0,56	0,79	0,78	7,84	6,12	9,92
Итого		56	1161	0,66	0,76	0,85	765,18	652,28	1005,47

Таблица 3 – Расчетные мощности и «рабочие токи производства промышленных холодильных установок и агрегатов, а также холодильного оборудования общего исполнения» [26]

ЭП	Наименование группы ЭП	$P_{см}$	$Q_{см}$	$S_{см}$	$n_э$	K_p	K_p'	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт	квар	кВА				кВт	квар	кВА	А
Установка 1. Производство холодильного и морозильного оборудования промышленного назначения		299,99	294,47	420,36	12	0,9	1	269,99	294,47	399,51	576,64
1-4	Производственный участок компрессорного оборудования	129,75	136,24	188,04	—	—	—	—	—	—	—
5-6	Производственный участок запорной и регулирующей арматуры	38,64	30,14	49,54	—	—	—	—	—	—	—
7-11	Производственный участок изготовления испарителей тепловых машин	29,16	21,87	36,45	—	—	—	—	—	—	—
12-13	Производственный участок холодильных конденсаторов	21	15,75	28	—	—	—	—	—	—	—
14-16	Приточная и вытяжная вентиляция, дымоудаление	70,8	82,84	108,92	—	—	—	—	—	—	—
17	Производственный участок кранов шаровых	5,9	3,84	9,08	—	—	—	—	—	—	—
18-21	Участок монтажа клапанов и КИП	4,74	3,79	6,08	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3

ЭП	Наименование группы ЭП	$P_{см}$	$Q_{см}$	$S_{см}$	$n_э$	K_p	K_p'	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт	квар	кВА				кВт	квар	кВА	А
Установка 2. Производство промышленных чиллеров, фанкойлов		199,78	162,78	257,7	8	0,92	1,1	183,8	179,06	256,6	370,37
22-23	Производственный участок трехходовых клапанов	26,91	29,06	39,57	—	—	—	—	—	—	—
24-25	Производственный участок электродроссельных и механических заслонок	28,56	24,56	37,58	—	—	—	—	—	—	—
26-28	Ресиверный участок	86,14	75,8	114,85	—	—	—	—	—	—	—
29-30	Производственный участок теплообменников и охладителей	34,65	19,75	39,83	—	—	—	—	—	—	—
31-32	Производственный участок фильтрующих элементов	20,16	12,5	23,72	—	—	—	—	—	—	—
33	Производственный участок для подключения автоматики	3,36	1,11	3,54	—	—	—	—	—	—	—
Установка 3. Производство металлоконструкций		166,29	141,78	218,53	12	0,9	1	149,66	141,78	206,15	297,55
34-36	Сварочный агрегат	37,8	35,53	51,78	—	—	—	—	—	—	—
37-38	Токарный станок	46,61	40,08	61,33	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3

ЭП	Наименование группы ЭП	$P_{см}$	$Q_{см}$	$S_{см}$	$n_{э}$	K_p	K_p'	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт	квар	кВА				кВт	квар	кВА	А
39-41	Шлифовальный станок	45,43	39,98	60,57	—	—	—	—	—	—	—
42-43	Разрезной станок	22,2	15,98	27,41	—	—	—	—	—	—	—
44	Фрезерный станок	3,65	3,32	4,93	—	—	—	—	—	—	—
45-49	Мастерская	10,6	6,89	12,62	—	—	—	—	—	—	—
Установка 4. Сборочно-монтажный участок		99,12	53,25	112,52	4	0,97	1,1	96,15	58,58	112,59	162,51
50-51	Пневматическая установка и электрический инструмент для сборки оборудования	63,84	22,98	67,91	—	—	—	—	—	—	—
52-53	Сварочный агрегат	27,44	24,15	36,59	—	—	—	—	—	—	—
54	Слесарная и мастерская	7,84	6,12	9,92	—	—	—	—	—	—	—
Итого		765,18	652,28	1005,47	—	—	—	699,6	673,89	971,37	1402,05

Таблица 4 – Общая электрическая нагрузка всех зданий завода холодильного оборудования

Здание	Наименование здания	P_y	K_n	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	S_p	I_p
		кВт				кВт	квар	кВА	А
11	Производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленного исполнения	1161	0,66	0,76	0,85	699,60	673,89	971,37	1402,05
12	Производство морозильных камер, камер шоковой заморозки	470	0,65	0,8	0,75	305,50	229,13	381,88	551,2
13	Производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	476	0,61	0,72	0,96	290,36	278,75	402,50	580,96
14	Производство холодильных камер со стеклянным фронтом	260	0,61	0,73	0,94	158,60	149,08	217,67	314,18
15	Склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов	64	0,4	0,84	0,65	25,60	16,64	30,53	44,07
16	Администрация и заводоуправление	90	0,8	0,86	0,59	72,00	42,48	83,60	120,67
Итого по цехам без учета освещения		2521	—	0,74	0,90	1551,66	1389,96	2083,18	3006,81

На рассматриваемом заводе по производству холодильного оборудования используются для освещения прилегающих к зданиям территорий лампы ДРЛ, имеющие световую отдачу 60 Лм/Вт. В качестве внутреннего освещения зданий используются люминесцентные лампы, которые имеют световую отдачу 80-83 Лм/Вт (таблица 5) [27],[28].

Таблица 5 – Осветительные нагрузки зданий завода по производству холодильного оборудования

Цех	Наименование цеха	E	K_c	F	$\cos\varphi$	Φ/P	P_{po}	Q_{po}	S_{po}
		лк		м ²		Лм/Вт	кВт	квар	кВА
11	Производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленного исполнения	200	0,87	7924	0,85	81	17,02	10,56	20,03
12	Производство морозильных камер, камер шоковой заморозки	200	0,87	904	0,85	83	1,9	1,17	2,23
13	Производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	200	0,87	878	0,85	82	1,86	1,16	2,19
14	Производство холодильных камер со стеклянным фронтом	200	0,87	284	0,85	81	0,61	0,38	0,72
15	Склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов	300	0,63	1514	0,85	80	3,58	2,22	4,21
16	Администрация и заводоуправление	200	0,93	363	0,85	80	0,84	0,52	0,99
Прилегающие территории		10	0,62	4011	0,8	60	0,41	0,32	0,52
Итого		—	—	15878	0,85	—	26,56	16,55	31,29

Вывод по разделу

Здания завода имеют большой потенциал энергосбережения. Далее необходимо проанализировать мероприятия, которые могут снизить потери энергоносителей.

2 Повышение энергетической эффективности на промышленных предприятиях

2.1 Обзор существующих решений

«Существуют различные классификации технологий по повышению энергоэффективности в зависимости» [8] от:

- принципа функционирования;
- уровня затрат на внедрение энергосберегающего мероприятия;
- целевого назначения.

При решении экологических задач, организации и предприятия внедряют технологии с большим эффектом снижения потерь (рисунок 7) [29].



Рисунок 7 – Основные типы технологий энергосбережения

В данный момент, в эксплуатации находится значительного количество устройств, энергопотребление которых возможно уменьшить в процессе

работы электрооборудования. К таким устройствам относят конденсаторные установки и частотно регулируемые приводы [30].

Электроприводы с частотным управлением позволяют гибко изменять частоту вращения ротора в зависимости от требуемой нагрузки для работы технологической установки. Данное решение способствует снижению потерь электрической энергии.

Технология умного освещения включает в себя системы автоматизации и датчики, энергосберегающие лампы, контроллеры. Самыми современными лампами являются светодиодные поскольку потребление электроэнергии снижается:

- при равном уровне освещения – в несколько раз;
- относительно ламп накаливания – примерно в 8 раз, в относительно энергосберегающих газоразрядных – в 3 раза.

Также следует отметить следующие преимущества:

- увеличенная автономность портативных устройств
- увеличенный срок эксплуатации;
- низкий уровень тепловых потерь;
- адаптированы под современные цоколи и разъемы;
- отсутствие мерцания;
- экологическая безопасность;
- не предусмотрена особая утилизация.

В соответствии с этим в последующих разделах проведем расчет экономии электроэнергии при замене освещения на светодиодные аналоги с автоматической системой управления.

2.2 Энергосбережение в электроприводах

Ранее было отмечено, что на объекте исследования используется значительное количество электрических приводов, применяемые в различных технологических процессах.

Повышение энергетической эффективности считается самым перспективным, дешевым и экологичным способом роста мощностей генерации электроэнергии. Известно, что расходы по экономии 1 кВт требуют в 5 раз меньше ресурсов, чем выработка вновь того же 1 кВт электроэнергии.

Согласно статистике наибольшую нагрузку потребляет промышленность по отраслям экономики РФ (рисунок 8) [3].

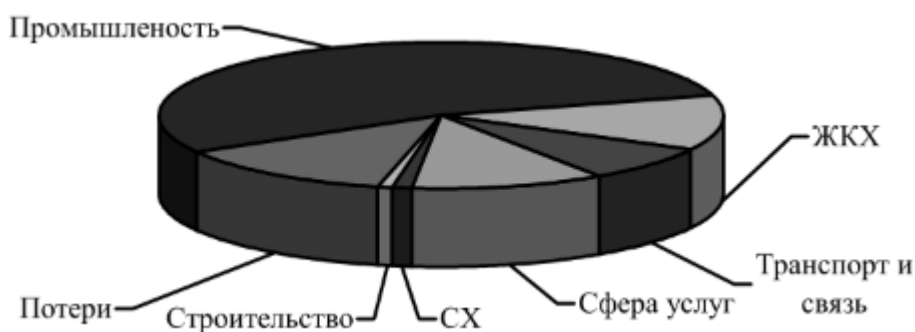


Рисунок 8 – Потребление электроэнергии по отраслям экономики РФ

Около 74% от всего потребления электрической энергии на промышленных предприятиях используется приводами различного технологического оборудования (рисунок 9).



Рисунок 9 – Потери электротехнического оборудования промышленных объектов

Потери электроэнергии в электрических приводах происходят по причинам:

- конструктивным;
- техническим;
- эксплуатационным.

Самая главная причина высокого потребления электрической энергии заключается в том, что электропривода нерегулируемые.

Также помимо того, что независимо от нагрузки, электродвигатель не изменяет своего электропотребления, в установленных двигателях имеется значительный запас мощности. Такие двигатели изначально имеют повышенное электропотребление. Так как двигатели имеют значительный запас в мощности и постоянно не догружены, то они работают при низком КПД [3].

Наиболее весомой величиной является КПД электрического двигателя. При росте мощности и оборотов вращения, повышается КПД (рисунок 10) [9].

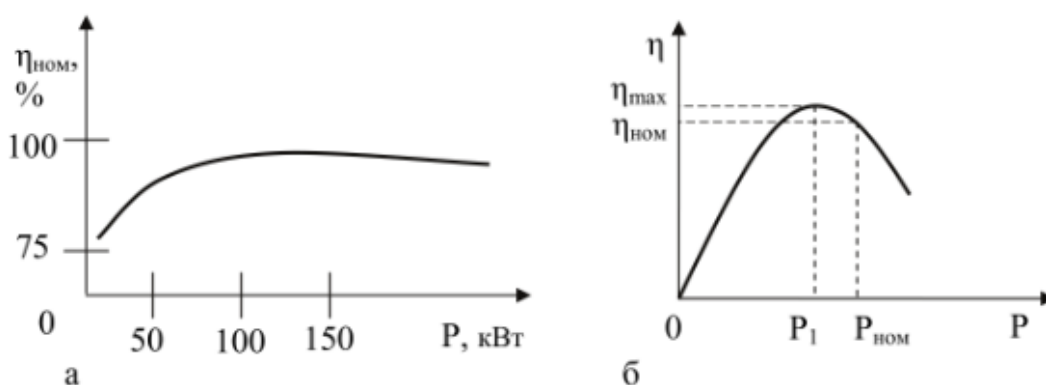


Рисунок 10 – Графики зависимостей КПД электродвигателя от мощности (а) и от величины нагрузки на выходном валу (б)

При пуске и торможении электрических двигателей постоянные потери зависят от скорости вращения двигателя прямолинейно, а переменные потери изменяются в зависимости от величины квадраты силы тока.

Поэтому при номинальных параметрах режима работы двигателя КПД максимальный, переменные потери приравниваются к постоянным.

Пути повышения энергоэффективности:

- сократить время работы электропривода на холостом ходу;
- обеспечить близкую нагрузку на вал электродвигателя, например, в результате переключения на электродвигатель малой мощности;
- уменьшить потери энергии при переходных процессах;
- использование методов регулирования частоты вращения;
- использования быстроходных электрических двигателей;
- замена действующих на энергоэффективные электропривода.

«На существующих компрессорных установках промышленных объектов, 87% агрегатов имеют газотурбинный привод центробежных нагнетателей, а лишь 13% составляют электропривода из которых подавляющее большинство нерегулируемые» [9].

Одним из способов регулирования электроприводов являются устройства переключения обмоток. Использование той или иной схемы изменяет величину потерь электроэнергии (рисунок 11).



Рисунок 11 – Влияние схемы обмоток на потери

Ещё одним перспективным направлением снижения электропотерь приводов является применение преобразователей частоты (ПЧ). Основным их

недостатком является высокая цена, однако стоимость становится ниже с ростом мощности управляемого привода (рисунок 12).

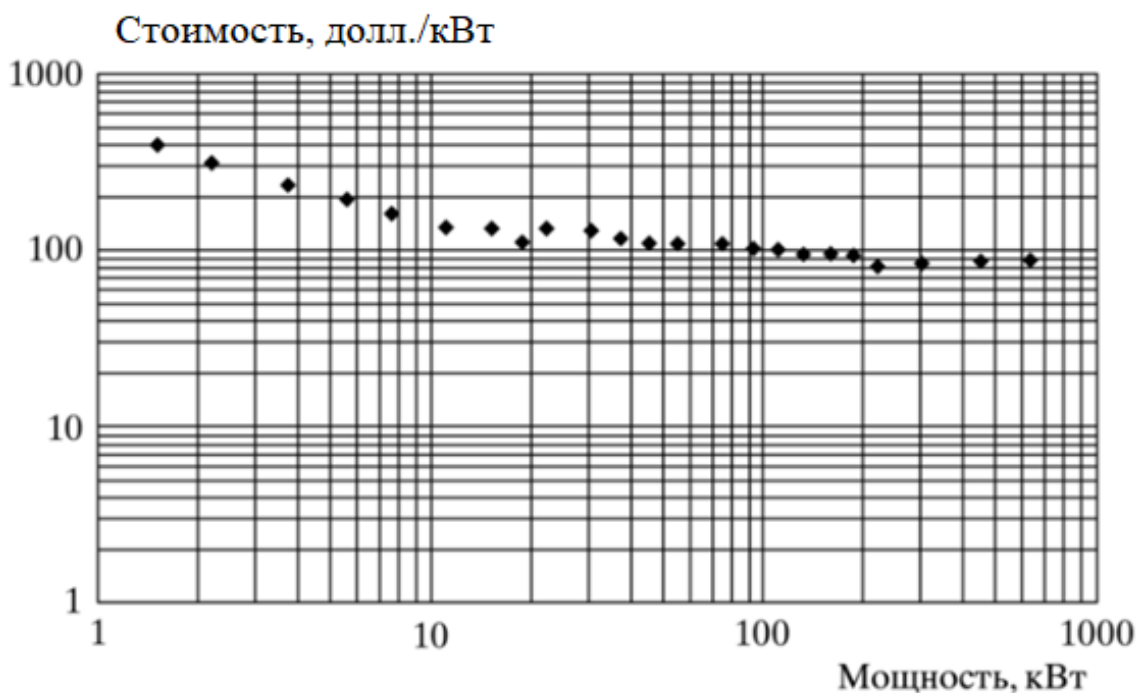


Рисунок 12 – Относительная стоимость ПЧ в расчете на 1 кВт

«При реконструкции компрессорных установок и газотранспортировочных машин требуется технико-экономический расчет. При оценке экономической эффективности расхода топливно-энергетических ресурсов газоперекачивающими агрегатами компрессорных цехов, необходимо определить следующие показатели:

- капитальные затраты на строительство компрессорной станции с разным типом привода газоперекачивающих агрегатов;
- разницу в стоимости капитальных затрат на строительство и затрат на расчетный период стоимости эксплуатации компрессорной станции с разным типом привода;
- стоимостный эффект от расхода топливно-энергетических ресурсов компрессорными станциями с разным типом привода;

- экологические аспекты эксплуатации разных типов приводов агрегатов;
- срок окупаемости мероприятия оборудования разных типов приводов агрегатов» [9].

Способы снижения потерь энергии компрессорных агрегатов, следующие:

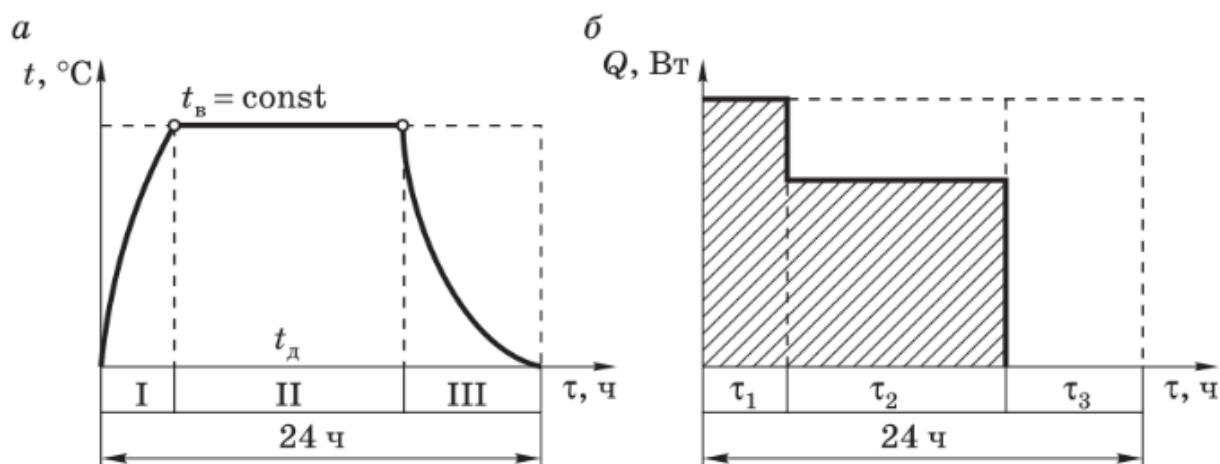
- уменьшение затрат объема сжатого воздуха, путем отключения не используемых в работе магистралей, оборудования;
- авторегулировка снабжения сжатого воздуха в систему;
- «анализ важности разделения системы в случае присутствия потребителей с сильно отличающимися уровнями давления, поскольку снижение давления на 200 кПа позволяет уменьшить на 15% потребление энергии, следует не превышать давление в системе более 500 кПа» [9];
- утилизация тепловой энергии системы охлаждения компрессоров;
- применение автоуправления последовательностью включения компрессорных установок в зависимости от падения давления в контуре;
- замена устаревших компрессоров;
- замещение воздуха в системе другим энергоносителем.

2.3 Повышение энергоэффективности использования тепловой энергии

Что касается газопоршневых генераторных установок, то преобразование энергии природного газа в тепловую и электрическую обеспечивает КПД около 90% [14, с.236].

Одним из перспективных направлений снижения потерь на выработку электрической и тепловой энергии является прерывистое (периодическое отопление). Данный способ отопления предполагает снижение или

отключение подачи теплоты в систему в определенные периоды времени. Организация прерывистого отопления представлена на рисунке 13.



τ_1 – нагрев помещений завода; τ_2 – поддержание установившегося теплового режима;
 τ_3 – время отсутствия подачи тепловой энергии

Рисунок 13 – Изменение температуры внутри завода (а) и потребление тепловой энергии при прерывистом отоплении

Суточный цикл состоит из трех этапов. На первом этапе осуществляется подогрев теплоносителя с температуры t_d до t_B путем работы газопоршневой установки.

На втором этапе осуществляется частичное сжигание газа или отключение одной из газопоршневых установок для поддержания требуемого температурного режима.

На третьем этапе происходит прекращение подогрева помещений завода. Температура снижается до значения t_d .

Периодическая подача теплоносителя предполагает изменения температуры в помещениях, которые определяются величиной и продолжительностью тепловых поступлений. Температурный минимум устанавливается к концу периода отключения подачи теплоносителя. Данный параметр зависит от теплового сопротивления и качества установки ограждающих конструкций. Высокое тепловое сопротивление обеспечивает

более высокое значение остаточной тепловой энергии помещений завода и, следовательно, температуры.

Однако, при значительном тепловом сопротивлении, величина экономии тепловой энергии будет ниже в следствие того, что большая часть тепловой энергии будет оставаться внутри помещений.

Двухкомпонентная система комбинированного отопления является наиболее перспективным типом, поскольку наиболее гибкая с точки зрения эксплуатации. Один из компонентов этой системы водяное отопление, который является основным, а вспомогательным компонентом – воздушное отопление. Водяное отопление осуществляет постоянную подачу тепловой энергии, а воздушное позволяет регулировать тепловой недостаток помещений.

«Работу догревающей части системы отопления автоматизируют для выдерживания расчетного режима. На случай неожиданного резкого понижения температуры наружного воздуха в контрольных помещениях устанавливают датчики минимальной температуры. По сигналу от них догревающая часть системы отопления включается в дополнительном режиме натопа помещений. Эти же датчики используются в воскресные и праздничные дни» [14].

Суммарное значение экономии тепловой энергии в отопительный период при периодическом «отоплении различного типа зданий может составлять 20-30% по сравнению с постоянным отоплением» [5].

Также важно учитывать степень утепления зданий. Современные здания, отвечающие требованиям энергоэффективности, возводятся с надежной тепловой изоляцией на основе применения новых эффективных материалов для тепловой изоляции сооружений.

«В основном они многослойные с утеплителем, коэффициент теплопроводности которого не выше $0,08...0,09 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ » [14].

Зависимость тепловых потерь через площадь ограждающей конструкции от «сопротивления передачи тепловой энергии на примере Московской области представлена на рисунке 14» [17],[18].

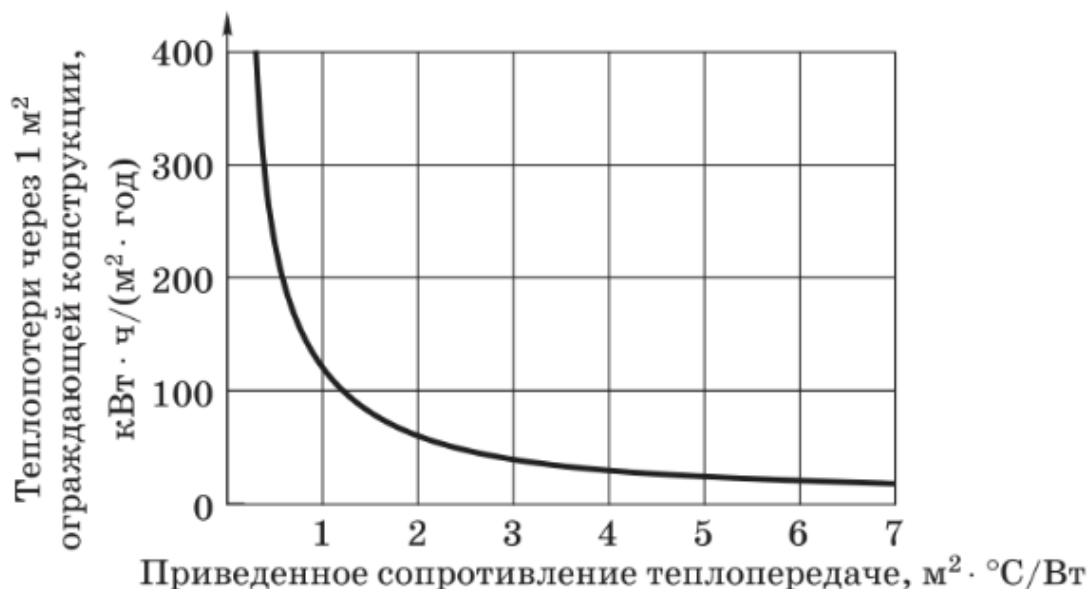


Рисунок 14 – Зависимость тепловых потерь через 1 м² ограждающей конструкции от сопротивления передачи тепловой энергии

«Тепловая изоляция выполняется либо с наружной, либо с внутренней стороны с размещением внутри ограждений.

При установке внутри ограждающих конструкций тепловая изоляция размещается устанавливается в покрытиях над верхними этажами, перекрытиях над подвальными помещениями, техподпольями и проездами, в панельных конструкциях, выполненных тремя слоями наружных стен.

Для сооружений с монолитным и сборным каркасом применяются стеновые конструкции навесом с эффективным утеплением или из блоков ячеистого теплоизолирующего бетона» [18].

«На новом техническом уровне формируется технология использования для наружных стен таких строительных материалов, как эффективные блоки из керамзитобетона (плотность $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$), эффективного кирпича, блоков из полированной керамики ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$) и др» [14].

«Выбирая способ утепления желательно принять решение об установке наружной тепловой изоляции, защищающей от попеременного замерзания и оттаивания, стабилизирует колебания температуры, смещает точку росы к внешней поверхности, украшает архитектуру здания. Еще одним достоинством наружной установки тепловой изоляции является повышение тепловой аккумулирующей способности ограждений. Также при периодическом отоплении помещений стены теряют температуру несколько медленнее, чем с внутренней тепловой изоляцией при равной толщине слоя утепляющего материала» [14].

«При установке с внутренней стороны тепловой изоляции может возникать несоблюдение требуемого режима влажности, понижение уровня конденсации, диффундирующего через конструктивные элементы здания. Надежная эксплуатация такого решения достигается при установке паронепроницаемого материала, который ограничивает проницаемость пара внутрь данного слоя и появлению конденсата» [17].

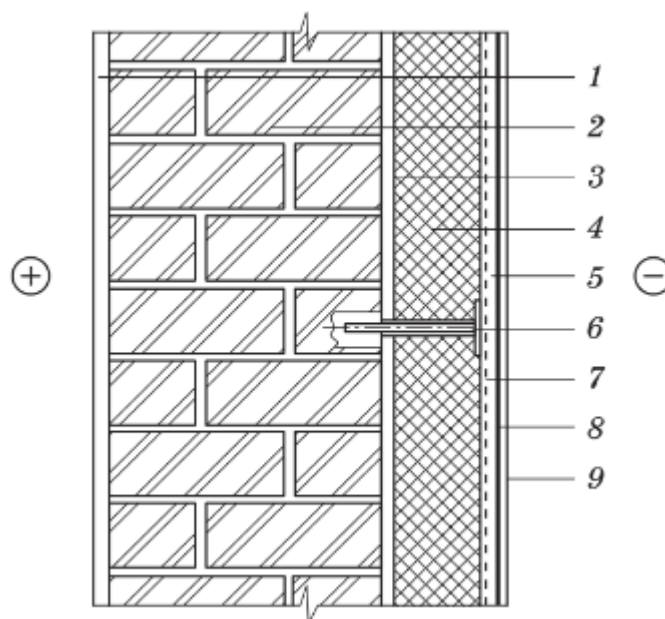
Тепловая изоляция стен выполняется с помощью:

- «мокрых» технологий утепления;
- «сухих» технологий утепления.

Наиболее популярной технологией тепловой изоляции является первая. Основные конструктивные способы выполнения представлены на рисунках 15 и 16.

При использовании систем с легким слоем штукатурного слоя используются материалы для тепловой изоляции:

- Пенополистерольные плиты;
- Пенополиуретановые плиты;
- минераловатные плиты.



1 – слой штукатурки; 2 – кирпичная кладка; 3 – клей; 4 – тепловая изоляция; 5 – выравнивающий слой клея; 6 – крепеж; 7 – арматурная сетка; 8 – слой грунта; 9 – декоративный штукатурный слой

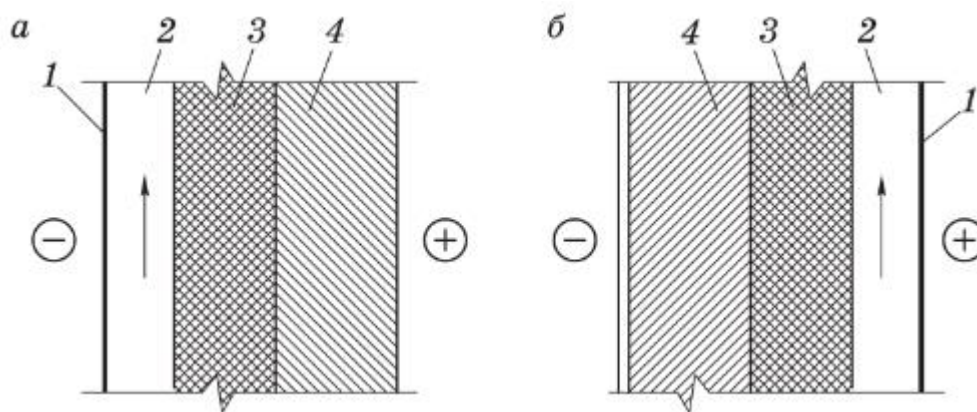
Рисунок 15 – Конструкция наружного утепления с тонким слоем штукатурки

Слой клея размещают на поверхности плит тепловой изоляции таким образом, чтобы между стеной и плитой образовывался слой воздуха толщиной 3-8 мм. Для повышения стойкости и надежности слоя тепловой изоляции наносят клеевой состав, который армируется стойкой к щелочам стеклосеткой, укладывается декоративный штукатурный слой с полимером.

«При использовании для армирования металлической сетки и укрытии слоя теплоизоляции минеральными штукатурками систему утепления называют тяжелой» [14].

«Мокрая» тепловая изоляции требует использования материалов:

- безопасных,
- долговечных,
- совместимых.



1 – экранирующий слой; 2 – слой воздуха; 3 – слой тепловой изоляции; 4 – наружная стена

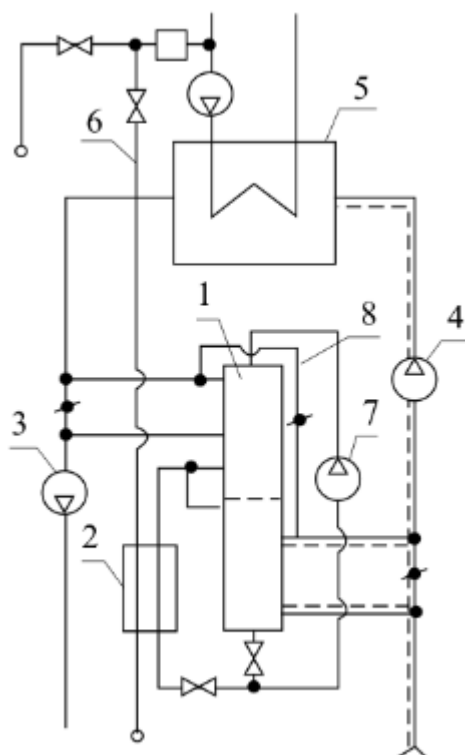
Рисунок 16 – Наружная тепловая изоляция с наружным (а) и внутренним (б) размещением вентилируемой прослойки

Качества «мокрых» систем тепловой защиты зданий определяются исходя из количества включений тепловой проводимости и воздушной фильтрации в прослойках между слоем тепловой изоляции и стеновыми конструкциями, что в свою очередь снижает сопротивление тепловой передаче конструкции [2].

2.4 Утилизация тепловой энергии отработавших газов

При сжигании природного газа можно существенно уменьшить количество сжигаемого топлива и одновременно повысить коэффициент использования топлива. Для этого существуют кондиционеры дутьевого воздуха [7],[8].

Схема включения кондиционера дутьевого воздуха представлена на рисунке 17.

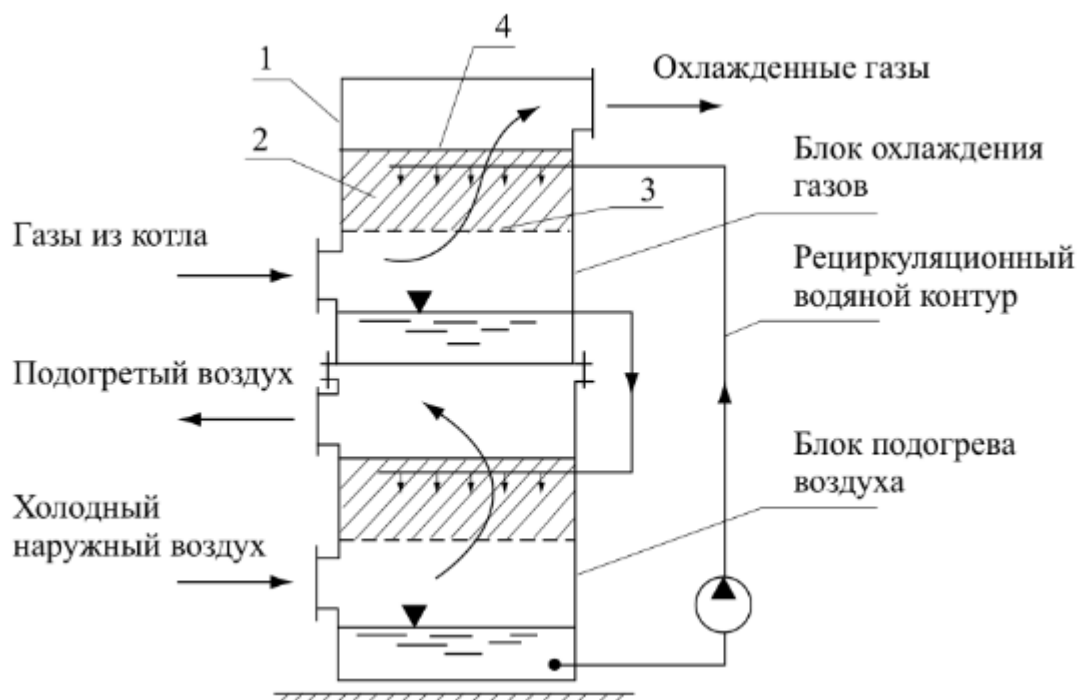


1 – кондиционер дутьевого воздуха; 2 – нагреватель; 3 – дымосос; 4 – дутьевой вентилятор; 5 – установка сжигания природного газа; 6 – подпитка; 7 – насос рециркуляции; 8 – смешение выхлопных газов и дутьевого воздуха

Рисунок 17 – Схема включения кондиционера дутьевого воздуха

Конструктивная схема устройства кондиционера дутьевого воздуха представлена на рисунке 18.

«Основным элементом является аппарат кондиционер дутьевого воздуха 1, в котором за счет теплоты уходящих газов котла осуществляется подогрев свежего наружного воздуха до 35-50°C с увлажнением его до 35-85 г/кг и последующим подмешиванием части дымовых газов (до 10-12% по объему) для корректировки газового состава и подогрева полученной смеси на 3-5°C выше точки росы» [6].



1 – корпус; 2 – керамическая насадка теплообменника; 3 – опорная решетка; 4 – распределитель воды

Рисунок 18 – Конструктивная схема устройства кондиционера дутьевого воздуха

«Снижение температуры дымовых газов и нагрев дутьевого воздуха осуществляется в разделенных блоках кондиционера, соединенных общим рециркуляционным водяным контуром с насосом» [11].

«Для наиболее сильного охлаждения дымовых газов, а также оптимизации использования тепловой энергии конденсации водяных паров осуществляется их охлаждение для нагрева воды подпитки теплосети в теплообменнике» [1].

«Для исключения конденсации водяных паров в дымососе и дымовой трубе и предотвращения коррозии их элементов к ним по байпасной линии подмешиваются газы непосредственно из котла» [6].

«Кондиционер дутьевого воздуха вместе с насосом и теплообменником подключается параллельно действующему оборудованию газопоршневой

установки, тем самым кондиционер дутьевого воздуха работает независимо от какой-либо установки сжигания природного газа» [6].

На основании данных о практическом применении на промышленных объектах с использованием установок, работающих на природном газе, монтаж кондиционера дутьевого воздуха позволяет добиться следующих результатов по снижению потерь [16]:

- «исходя из режима работы установки, работающей на природном газе степень подавления эмиссии оксидов азота, может достигать 70-85%;
- вместе с тем, благодаря утилизации тепловой энергии отводимых газов на 3-5% увеличивается КПД установки, работающей на природном газе по сравнению с проектным значением;
- работа кондиционера дутьевого воздуха в составе установки, работающей на природном газе, не усложняет эксплуатацию последней;
- система кондиционера дутьевого воздуха не требует высоких экономических затрат по установке КИПиА» [16];
- способы защиты оборудования кондиционера дутьевого воздуха от внутренней коррозии вполне эффективны;
- капиталовложения и эксплуатационные затраты окупаются путем экономии топливных ресурсов и денежных средств примерно за полгода.

Вывод по разделу

Повышение энергетической эффективности предполагает внедрение мероприятий в комплексе. В заключительном разделе необходимо провести расчет экономии тепловой энергии на отопление цехов предприятия по производству холодильного оборудования, а также экономии электрической энергии при использовании электроприводов и системы освещения помещений завода.

3 Технико-экономический расчет и результат внедрения энергосберегающих мероприятий

3.1 Результат снижения расхода тепловой энергии

Для снижения тепловых потерь проведем расчет теплоизоляционных работ промышленного объекта.

В таблице 6 представлен расчет тепловой изоляции трубопроводов и дымоходов, используемых для отопления промышленного предприятия.

Таблица 6 – Расчет окупаемости работ по тепловой изоляции отопительных трубопроводов и дымоходов

Параметр	Показатель	Значение	
Теплоизоляционный материал	Стоимость за единицу	22344	руб/м ³
	Требуемый объем	3	м ³
	Суммарная стоимость	67032	руб
Монтажные работы	Стоимость за единицу	600	руб/м
	Длина трубопровода	15	м
	Суммарная стоимость	9000	руб
Покрытие	Стоимость за единицу	1200	руб/м ²
	Объем	35	м ²
	Суммарная стоимость	42000	руб
Стоимость утепления		118032	руб
Стоимость тепловой энергии при сжигании природного газа		1,6	руб/кВтч
Количество часов за год		2700	ч
Потери теплоизолированного трубопровода		163	Вт/м
Потери трубопровода		5780	Вт/м
Снижение затрат тепловой энергии		24265	руб
Срок окупаемости		4,86	год

Теперь необходимо провести моделирование системы прерывистого отопления объекта с учетом утепления при внедрении кондиционера дутьевого воздуха для рекуперации тепловой энергии.

В качестве анализа рассмотрим четыре вида отопительных приборов:

- конвекторы;
- кондиционеры дутьевого воздуха;
- радиаторы;
- напольное отопление.

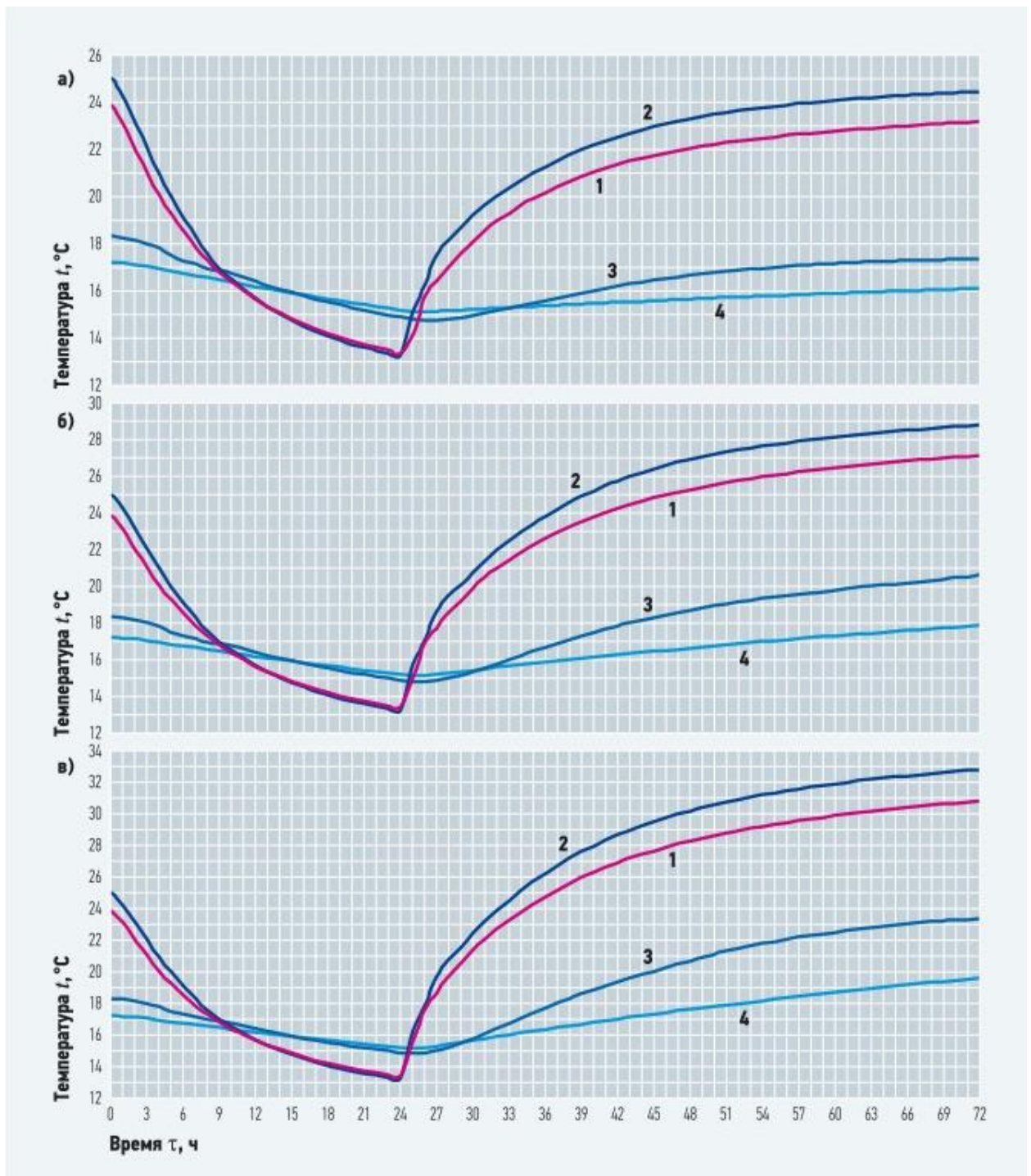
На рассматриваемом объекте используются радиаторные отопительные приборы. В качестве расчетной области примем вертикальный разрез помещения.

В субботу и воскресенье помещения не эксплуатируются поэтому, отопление помещений для поддержания требуемого микроклимата не требуется.

Температура помещений должна поддерживаться примерно 20°C , температура наружного воздуха примем -20°C .

Отопительная система используется в зимней период не в полной мере. Поэтому для простоты представления расчета, примем, что номинальная мощность отопительного оборудования соответствует коэффициенту $K=1$. Соответственно полное отключение отопительных приборов соответствует коэффициенту $K=0$, а при интенсивном и форсированном нагреве – $K=1,5$ и $K=2$ соответственно.

На рисунке 19 представлена динамика изменения температуры воздуха в течение суток. Более длительный период задается для исследования динамики изменения температуры помещения при работе различных отопительных приборов.



а – разогрев с номинальной мощностью $K=1$; б – разогрев при коэффициенте мощности $K=1,5$; в – разогрев с коэффициентом мощности $K=2$
 1 – конвектор; 2 – кондиционер дутьевого воздуха; 3 – радиатор; 4 – напольное отопление

Рисунок 19 – Характеристики изменения температуры воздуха

С 0 до 24 часов отопление работает в половину мощности ($K=0,5$) или отключается полностью ($K=0$) в зависимости от температуры окружающей среды.

В соответствии с этим представим в таблице 7 время подогрева воздуха до начального значения при работе различного отопительного оборудования.

Таблица 7 – Время нагрева до исходной температуры

Режим работы в первые сутки	Коэффициент мощности нагрева	Время нагрева воздуха отопительного оборудования			
		Конвектор	Кондиционер дутьевого воздуха	Радиатор	Напольное отопление
Отключение	$K=1$	78,0 ч	72,0 ч	>6 сут	>6 сут
	$K=1,5$	16,3 ч	15,3 ч	21,5 ч	34,0 ч
	$K=2$	10,5 ч	9,8 ч	14,0 ч	20,0 ч
$K=0,5$	$K=1$	55,0 ч	43,0 ч	>6 сут	>6 сут
	$K=1,5$	9,3 ч	7,9 ч	14,0 ч	20,2 ч
	$K=2$	5,8 ч	5,0 ч	10,0 ч	11,5 ч

Напольное отопление и радиаторы обладают большей инерционностью нагрева, что приводит к длительному нагреву. В первые рабочие смены не будут созданы необходимые температурные условия.

В таблице 8 представлены данные о дополнительном расходе тепловой энергии.

Таблица 8 – Дополнительный расход тепловой энергии

Режим работы в первые сутки	Коэффициент мощности нагрева	Дополнительный расход тепловой энергии, кДж/м ²			
		Конвектор	Кондиционер дутьевого воздуха	Радиатор	Напольное отопление
Отключение	$K=1$	0	0	0	0
	$K=1,5$	1080	1010	1420	2240
	$K=2$	1390	1290	1850	2640

Продолжение таблицы 8

Режим работы в первые сутки	Коэффициент мощности нагрева	Дополнительный расход тепловой энергии, кДж/м ²			
		Конвектор	Кондиционер дутьевого воздуха	Радиатор	Напольное отопление
K=0,5	K=1	0	0	0	0
	K=1,5	610	520	920	1330
	K=2	770	660	1320	1520

Дополнительный расход тепловой энергии повышается с ростом мощности отопления и времени нагрева помещений. Данные об экономии тепловой энергии за неделю для различного отопительного оборудования в зависимости от интенсивности обогрева представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Экономия тепловой энергии за неделю

Режим работы в первые сутки	Коэффициент мощности нагрева	Экономия тепловой энергии, кДж/м ²			
		Конвектор	Кондиционер дутьевого воздуха	Радиатор	Напольное отопление
Отключение	K=1	3170	3170	3170	3170
	K=1,5	2090	2160	1750	920
	K=2	1780	1870	1320	530
K=0,5	K=1	1580	1580	1580	1580
	K=1,5	970	1060	660	250
	K=2	820	920	260	70

В постоянном режиме отопления удельный расход тепловой энергии составляет 22179 кДж/м². В соответствии с этим, в таблице 10 представлены относительные данные экономии тепловой энергии при прерывистом отоплении.

Таблица 10 – Относительная экономия тепловой энергии за неделю

Режим работы в первые сутки	Коэффициент мощности нагрева	Экономия тепловой энергии, %			
		Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное покрытие
Отключение	K=1	14,3	14,3	14,3	14,3
	K=1,5	9,4	9,7	7,9	4,2
	K=2	8,0	8,5	6,0	2,4
K=0,5	K=1	7,1	7,1	7,1	7,1
	K=1,5	4,4	4,8	3,0	1,1
	K=2	3,7	4,2	1,2	0,3

В результате получаем, что для любого вида отопительного оборудования полное отключение в начальный период времени является более выгодным, чем работа в половину мощности ($K=0,5$). Отключение отопления приводит к форсированному снижению температуры воздуха помещений, что позволяет снизить теплопотери. Тем не менее, нельзя снижать температуру до аварийных режимов работы технологического и отопительного оборудования (произойдет разрыв трубопроводов).

Наиболее интенсивный нагрев воздуха помещений достигается при использовании отопительного оборудования, которое обладает низкой тепловой инерцией и принудительной воздушной циркуляцией.

Кондиционер дутьевого воздуха обладает наибольшей энергетической эффективностью, поскольку позволяет быстро повышать температуру помещений с использованием принудительной циркуляции, а также использовать тепловую энергию отработавших газов. Экономия тепловой энергии с использованием данного типа теплового оборудования составляет до 14,3%.

3.2 Результат снижения расхода электрической энергии

«Главным знаком энергоэффективности электродвигателей является КПД. КПД – это отношение полезно использованной к суммарной энергии, полученной системой. Основные потери можно условно разделяют на:

- механические потери (возникают от трения, возникшего в динамических частях двигателя);
- магнитные потери (например, из-за токов Фуко);
- электрические потери (потери в стали при протекании тока).

Для того чтобы классифицировать электрические двигатели была разработана особая классификация, утвержденная организацией IEC. Так действующим евростандартом IEC60034-30-1 выделяют классы энергоэффективности электродвигателей:

- IE1 – это стандартный тип;
- IE2 – высокая группа эффективности;
- IE3 – сверхвысокий класс;
- IE4 – премиум класс» [25].

«Класс энергоэффективности электродвигателя может быть повышен следующими способами:

- использование аддитивных технологий. Возможность использования широкого спектра материалов: пластиков, керамики, металлических сплавов и даже органических/биоматериалов ставит аддитивные технологии в авангарде современных технологий производства. В настоящее время уже имеется опыт изготовления катушек/обмоток, элементов электрической изоляции, блоков магнитных сердечников статора/ротора, постоянных магнитов, корпуса двигателя, конструктивных элементов на основе использования новых материалов и технологий. Однако, следует отметить относительно низкую технологическую зрелость данной технологии – так, например, магнитные или обмоточные материалы обладают несколько

худшими физическими свойствами по сравнению с существующими решениями. Тем не менее, исследования и разработки в этой области быстро прогрессируют» [19].

- «использование принципиально нового типа изоляции. В процессе работы от преобразователя частоты в двигателе возникают дополнительные потери в обмотке, вызванные ШИМ-модуляцией, однако именно изоляция является одним из важнейших узлов, определяющих долговечность электрической машины.
- улучшение аэродинамических свойств для снижения вентиляционных потерь путем оптимизации геометрии и топологии ротора.
- увеличение точности обработки и изготовления узлов и деталей двигателя, а также увеличение точности системы управления электрическим приводом за счёт внедрения в работу высокочувствительных датчиков и микроконтроллеров. Микроконтроллеры, применяемые к электромеханике, должны обладать такими характеристиками, как достаточное количество модулей захвата (САР), большое статическое ОЗУ, несколько каналов 12-разрядных АЦП, несколько модулей ШИМ.
- использование двигателя совместно с частотным преобразователем, который позволяет регулировать коэффициент мощности машины, а также наличие ПЧ позволяет использовать синхронные реактивные двигатели, класс энергоэффективности которых может достигать IE5.
- использование подшипников более высокого класса (NSK, SKF), выше 6, расчетный срок службы которых составляет более 40000 часов» [12].
- «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» [4].

Графически представим эффективность классов электродвигателей на рисунке 20.

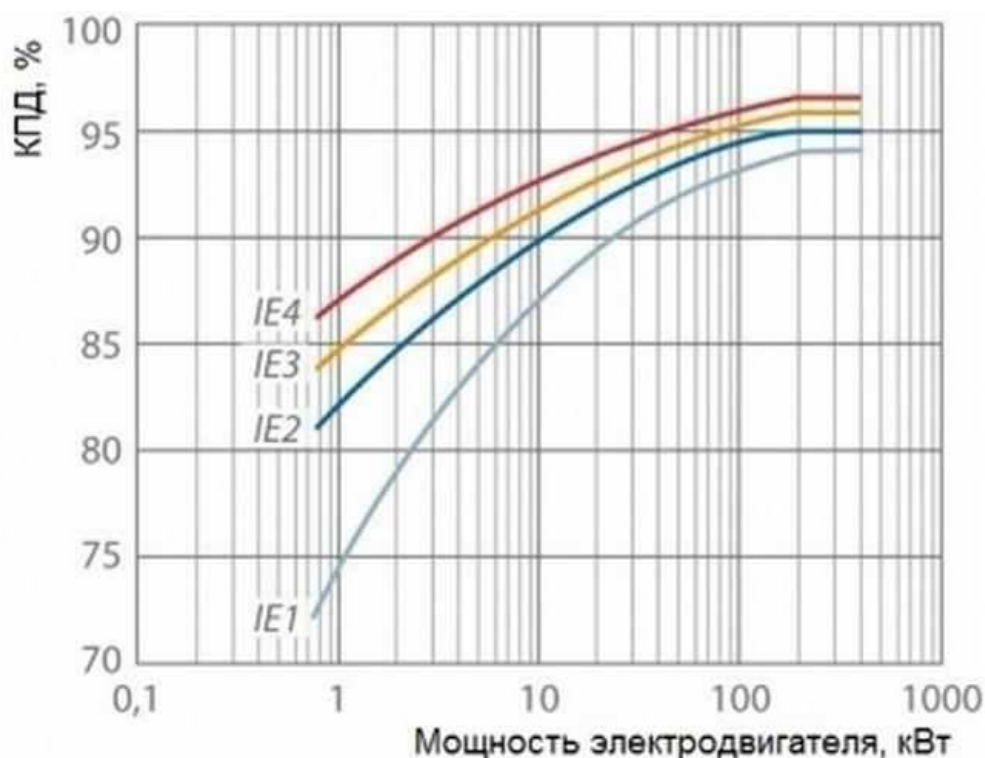


Рисунок 20 – График зависимости электродвигателей различных классов от мощности

«По представленному рисунку 20 мы видим, что величина КПД для отдельно взятой нагрузки для различных классов отличается. Более высокому классу соответствует высокий КПД.

За цену 1 кВтч электрической энергии принимаем 4,49 руб» [15]. Наиболее оптимальным вариантом является класс энергетической эффективности IE2. Двигатели класса IE2 обладают меньшей мощностью при аналогичных механических параметрах.

Технологическое оборудование и установки работают с использованием электроприводов. Сравнение действующих электроприводов и энергоэффективных представлено в таблице 11, а результаты внедрения и экономия в таблицах 12 и 13 соответственно.

Таблица 11 – Параметры асинхронных электродвигателей

Оборудование	Установка, цех	Электропривод действующий				Электропривод				Механические параметры электропривод		
		Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт	Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт	Mп/ Mн	Mmax/ Mн	n, об/мин
Электропривод токарных, сверлильных, расточных станков	Производство холодильного и морозильного оборудования промышленного назначения	АИР100L2	0,86	0,88	5,5	АИС100L2-IE2	0,84	0,87	3	2,3	2,3	2880
		АИР160M2	0,9	0,9	18,5	АИС160MA2-IE2	0,89	0,89	11	2,2	2,3	2940
		АИР180M2	0,91	0,9	30	АИС180M2-IE2	0,92	0,89	22	2,2	2,3	2950
		АИР112M2	0,87	0,88	7,5	АИС112M2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2900
Электропривод фрезерных, токарных, сверлильных, расточных станков	Производство промышленных чиллеров, фанкойлов	АИР160M2	0,9	0,9	18,5	АИС160MA2-IE2	0,89	0,89	11	2,2	2,3	2940
		АИР180M2	0,91	0,9	30	АИС180M2-IE2	0,92	0,89	22	2,2	2,3	2950
Электропривод листгибочных, отрезных станков	Производство металлоконструкций	АИР100L2	0,86	0,88	5,5	АИС100L2-IE2	0,84	0,87	3	2,3	2,3	2880
		АИР160M2	0,9	0,9	18,5	АИС160MA2-IE2	0,89	0,89	11	2,2	2,3	2940

Продолжение таблицы 11

Оборудование	Установка, цех	Электропривод действующий				Электропривод				Механические параметры электропривод		
		Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт	Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт	Mп/ Mн	Mmax/ Mн	n, об/мин
Пресс, заточные станки	Сборочно-монтажный участок	АИР180М2	0,91	0,9	30	АИС180М2-IE2	0,92	0,89	22	2,2	2,3	2950
		АИР112М2	0,87	0,88	7,5	АИС112М2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2900
Электропривод токарных, сверлильных, расточных станков	Цех морозильных камер, камер шоковой заморозки	АИР112М2	0,87	0,88	7,5	АИС112М2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2900
		АИР112М2	0,87	0,88	7,5	АИС112М2-IE2	0,86	0,88	4	2,3	2,3	2900
Электропривод фрезерных, токарных, сверлильных, расточных станков	Цех холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	АИР160М2	0,9	0,9	18,5	АИС160МА2-IE2	0,89	0,89	11	2,2	2,3	2940

Продолжение таблицы 11

Оборудование	Установка, цех	Электропривод действующий				Электропривод				Механические параметры электропривод		
		Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт	Тип	η	$\cos\phi$	P, кВт	Mп/ Mн	Mmax/ Mн	n, об/мин
Электропривод токарных, сверлильных, расточных станков	Цех холодильных камер со стеклянным фронтом	АИР100L2	0,86	0,88	5,5	АИС100L2-IE2	0,84	0,87	3	2,3	2,3	2880
		АИР160M2	0,9	0,9	18,5	АИС160MA2-IE2	0,89	0,89	11	2,2	2,3	2940
		АИР180M2	0,91	0,9	30	АИС180M2-IE2	0,92	0,89	22	2,2	2,3	2950
Электропривод систем вентиляции, насосного оборудования, подъемников	Склад, администрация и заводоуправление	АИР100L2	0,86	0,88	5,5	АИС100L2-IE2	0,84	0,87	3	2,3	2,3	2880
		АИР160M2	0,9	0,9	18,5	АИС160MA2-IE2	0,89	0,89	11	2,2	2,3	2940
		АИР180M2	0,91	0,9	30	АИС180M2-IE2	0,92	0,89	22	2,2	2,3	2950

Таблица 12 – Техничко-экономический расчет внедрения энергоэффективных электродвигателей

Оборудование	Установка, цех	Электропривод		п, шт	Экономия			Стоимость замены электроприво да, тыс. руб	Общая стоимость, тыс. руб	Простой срок окупаем ости, лет
		Тип	Р, кВт		кВт	кВтч/год	тыс. руб			
Электропривода токарных, сверлильных, расточных станков	Производство холодильного и морозильного оборудования промышленного назначения	АИС100L2- IE2	3	9	22,5	65700	294,99	55,91	503,18	1,71
		АИС160МА 2-IE2	11	5	37,5	109500	491,66	205,00	1 025,00	2,08
		АИС180М2- IE2	22	2	16	46720	209,77	410,00	820,00	3,91
		АИС112М2- IE2	4	2	7	20440	91,78	74,55	149,09	1,62
Электропривода фрезерных, токарных, сверлильных, расточных станков	Производство промышленных чиллеров, фанкойлов	АИС160МА 2-IE2	11	5	37,5	109500	491,66	205,00	1 025,00	2,08
		АИС180М2- IE2	22	5	40	116800	524,43	410,00	2 050,00	3,91
Электропривода листгибочных, отрезных станков	Производство металлоконструк ций	АИС100L2- IE2	3	5	12,5	36500	163,89	55,91	279,55	1,71
		АИС160МА 2-IE2	11	5	37,5	109500	491,66	205,00	1 025,00	2,08

Продолжение таблицы 12

Оборудование	Установка, цех	Электропривод		п, шт	Экономия			Стоимость замены электроприво да, тыс. руб	Общая стоимость, тыс. руб	Простой срок окупаем ости, лет
		Тип	Р, кВт		кВт	кВтч/год	тыс. руб			
Пресс, заточные станки	Сборочно- монтажный участок	АИС180M2-IE2	22	5	40	116800	524,43	410,00	2 050,00	3,91
		АИС112M2-IE2	4	5	17,5	51100	229,44	74,55	372,73	1,62
Электропривода токарных, сверлильных, расточных станков	Цех морозильных камер, камер шоковой заморозки	АИС112M2-IE2	4	5	17,5	51100	229,44	74,55	372,73	1,62
		АИС112M2-IE2	4	5	17,5	51100	229,44	74,55	372,73	1,62
Электропривода фрезерных, токарных, сверлильных, расточных станков	Цех холодильных шкафов, технологических и противопожарны х дверей	АИС160MA2- IE2	11	18	135	394200	1 769,96	205,00	3 690,00	2,08

Продолжение таблицы 12

Оборудование	Установка, цех	Электропривод		п, шт	Экономия			Стоимость замены электроприво да, тыс. руб	Общая стоимость, тыс. руб	Простой срок окупаем ости, лет
		Тип	Р, кВт		кВт	кВтч/год	тыс. руб			
Электропривода токарных, сверлильных, расточных станков	Цех холодильных камер со стеклянным фронтом	АИС100L2-IE2	3	4	10	29200	131,11	55,91	223,64	1,71
		АИС160MA2-IE2	11	6	45	131400	589,99	205,00	1 230,00	2,08
		АИС180M2-IE2	22	6	48	140160	629,32	410,00	2 460,00	3,91
Электропривода систем вентиляции, насосного оборудования, подъемников	Склад, администрация и заводоуправлени е	АИС100L2-IE2	3	4	10	29200	131,11	55,91	223,64	1,71
		АИС160MA2-IE2	11	2	15	43800	196,66	205,00	410,00	2,08
		АИС180M2-IE2	22	2	16	46720	209,77	410,00	820,00	3,91
—	—	—	—	—	582	1699440	7 630,49	—	19 102,27	—

Таблица 13 – Экономия электрической энергии при внедрении ПЧ

Оборудование	Установка, цех	Электропривод		п, шт	Стоимость ПЧ, тыс. руб	Годовое электропот ребление, кВтч	Годовое потребление при работе ПЧ, кВтч	Экономия		Прос той срок окупа емост и, лет
		Тип	Р, кВт					кВтч/год	тыс. руб	
Электропривод а токарных, сверлильных, расточных станков	Производство холодильного и морозильного оборудования промышленног о назначения	АИС100L2 -IE2	3	9	24	8760	5781,6	26805,6	120,357	1,79
		АИС160М А2-IE2	11	5	88	32120	21199,2	54604	245,172	1,79
		АИС180М2 -IE2	22	2	176	64240	39828,8	48822,4	219,213	1,61
		АИС112М2 -IE2	4	2	32	11680	7708,8	7942,4	35,6614	1,79
Электропривод а фрезерных, токарных, сверлильных, расточных станков	Производство промышленны х чиллеров, фанкойлов	АИС160М А2-IE2	11	5	88	32120	20556,8	57816	259,594	1,69
		АИС180М2 -IE2	22	5	176	64240	42398,4	109208	490,344	1,79
Электропривод а листгибочных, отрезных станков	Производство металлоконстр укций	АИС100L2 -IE2	3	5	24	8760	5781,6	14892	66,8651	1,79
		АИС160М А2-IE2	11	5	88	32120	21199,2	54604	245,172	1,79

Продолжение таблицы 13

Оборудование	Установка, цех	Электропривод		п, шт	Стоимость ПЧ, тыс. руб	Годовое электропот ребление, кВтч	Годовое потребление при работе ПЧ, кВтч	Экономия		Прос той срок окупа емост и, лет
		Тип	Р, кВт					кВтч/год	тыс. руб	
Пресс, заточные станки	Сборочно- монтажный участок	АИС180M2 -IE2	22	5	176	64240	42398,4	109208	490,344	1,79
		АИС112M2 -IE2	4	5	32	11680	7241,6	22192	99,6421	1,61
Электропривод а токарных, сверлильных, расточных станков	Цех морозильных камер, камер шоковой заморозки	АИС112M2 -IE2	4	5	32	11680	7475,2	21024	94,3978	1,69
		АИС112M2 -IE2	4	5	32	11680	7358,4	21608	97,0199	1,65
Электропривод а фрезерных, токарных, сверлильных, расточных станков	Цех холодильных шкафов, технологически х и противопожарн ых дверей	АИС160M A2-IE2	11	18	88	32120	21199,2	196574	882,619	1,79

Продолжение таблицы 13

Оборудование	Установка, цех	Электропривод		п, шт	Стоимость ПЧ, тыс. руб	Годовое электропот ребление, кВтч	Годовое потребление при работе ПЧ, кВтч	Экономия		Прос той срок окупа емост и, лет
		Тип	Р, кВт					кВтч/год	тыс. руб	
Электропривод а токарных, сверлильных, расточных станков	Цех холодильных камер со стеклянным фронтом	АИС100L2 -IE2	3	4	24	8760	5781,6	11913,6	53,4921	1,79
		АИС160M A2-IE2	11	6	88	32120	21199,2	65524,8	294,206	1,79
		АИС180M2 -IE2	22	6	176	64240	42398,4	131050	588,413	1,79
Электропривод а систем вентиляции, насосного оборудования, подъемников	Склад, администрация и заводоуправлен ие	АИС100L2 -IE2	3	4	24	8760	5781,6	11913,6	53,4921	1,79
		АИС160M A2-IE2	11	2	88	32120	21199,2	21841,6	98,0688	1,79
		АИС180M2 -IE2	22	2	176	64240	42398,4	43683,2	196,138	1,79
—	—	—	—	—	1632	—	—	1031227	4630,21	

«Простой срок окупаемости, выраженный в годах:

$$PP = \frac{C}{\Delta W S_W}, \quad (1)$$

где C – стоимость проведения работ, тыс. руб;

S_W – тариф электрической энергии, руб/кВтч» [26].

Использование электроприводов класса IE2 привело к снижению потерь электроэнергии предприятия на 1031 МВтч за рассматриваемый год.

«Окупаемость инвестиций при установке электроприводов большей энергоэффективности составляет не более чем четыре года при работе в две смены пять дней в неделю. Электродвигатели IE3 являются более дорогостоящими и приводят к окупаемости значительно позже.

Далее проведем технико-экономический расчет внедрения ПЧ» [27].

Предприятие по производству холодильного оборудования задействует электрические привода в среднем на 66%. При внедрении ПЧ предполагается снижение доли потребляемой электрической энергии.

Проведем расчет освещения для повышения энергетической эффективности рассматриваемого промышленного объекта.

«Расчет электрической нагрузки освещения (таблица 14):

$$P_{p.o} = \frac{E \cdot K_c \cdot F}{\Phi / P} \quad (2)$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(\cos \varphi)) \quad (3)$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} \quad (4)$$

где Φ/P – световая отдача, Лм/Вт;

F – площадь освещения, м²;

K_c – коэффициент спроса» [5].

Расчет стоимости работ представлен в таблице 15.

Таблица 14 – Расчет эффективности замены освещения

Цех	Наименование цеха	Исходные данные			Действующее освещение					Светодиодное освещение				
		E	K_c	F	$\cos\varphi$	Φ/P	P_{po}	Q_{po}	S_{po}	$\cos\varphi$	Φ/P	P_{po}	Q_{po}	S_{po}
		лк		м2		Лм/Вт	кВт	квар	кВА		Лм/Вт	кВт	квар	кВА
11	Производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленного исполнения	200,00	0,87	7924	0,85	81,00	17,02	10,56	20,03	0,96	150,00	9,19	2,67	9,57
12	Производство морозильных камер, камер шоковой заморозки	200,00	0,87	904	0,85	83,00	1,9	1,17	2,23	0,96	150,00	1,05	0,29	1,09
13	Производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	200,00	0,87	878	0,85	82,00	1,86	1,16	2,19	0,96	150,00	1,02	0,29	1,06
14	Производство холодильных камер со стеклянным фронтом	200,00	0,87	284	0,85	81,00	0,61	0,38	0,72	0,96	150,00	0,33	0,08	0,34
15	Склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов	300,00	0,63	1514	0,85	80,00	3,58	2,22	4,21	0,97	135,42	2,11	0,55	2,18
16	Администрация и заводоуправление	200,00	0,93	363	0,85	80,00	0,84	0,52	0,99	0,96	92,71	0,73	0,21	0,76
	Прилегающие территории	10,00	0,62	4011	0,8	60,00	0,41	0,32	0,52	0,97	150,00	0,17	0,00	0,17
Итого		—	—	15878	0,85	—	26,22	16,33	30,89	0,96	—	14,60	4,09	15,17

Таблица 15 – Расчет стоимости работ по замене светильников

Цех	Наименование цеха	$\cos\varphi$	Φ/P	P_{po}	Q_{po}	S_{po}	P	n	Цветовая температура	Степень пылевлагазащи-ты	Моде-ль	Цена	Стоимо-сть
			Лм/Вт	кВт	квар	кВА	Вт	шт	К	IP		руб	тыс.руб
11	Производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленн ого исполнения	0,96	150,00	9,19	2,67	9,57	45	204	4000	65	FS-MAN-V	6900	1407,6
12	Производство морозильных камер, камер шоковой заморозки	0,96	150,00	1,05	0,29	1,09	45	23	4000	65	FS-MAN-V	6900	158,7
13	Производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	0,96	150,00	1,02	0,29	1,06	45	23	4000	65	FS-MAN-V	6900	158,7

Продолжение таблицы 15

Цех	Наименование цеха	$\cos\varphi$	Φ/P	P_{po}	Q_{po}	S_{po}	P	n	Цветовая температура	Степень пылевлагазащи-ты	Моде-ль	Цена	Стоимо-сть
			Лм/Вт	кВт	квар	кВА	Вт	шт	К	IP		руб	тыс.руб
14	Производство холодильных камер со стеклянным фронтом	0,96	150,00	0,33	0,08	0,34	45	7	4000	65	FS-MAN-V	6900	48,3
15	Склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов	0,97	135,42	2,11	0,55	2,18	50	42	6000	65	FS-MAN-SL	7100	298,2
16	Администрация и заводоуправление	0,96	117,65	0,57	0,19	0,60	35	16	4000	40	Diolum-OF-1112 U	3000	48
Прилегающие территории		0,97	150,00	0,17	0,00	0,17	40	4	5000	65	ДКУ 1013-100Д	2700	10,8
Итого		0,96	—	14,44	4,07	15,01	—	—	—	—	—	—	2130,3

«Средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк. Для складских помещений принимаем освещенность $E = 300$ лк» [5].

Расчет окупаемости работ по модернизации системы освещения представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет окупаемости работ по модернизации системы освещения

Цех	Наименование цеха	Стоимость	Экономия в год		Окупаемость
		тыс.руб	кВтч	тыс.руб	год
11	Производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленного исполнения	1407,6	48993,43	219,98	6,40
12	Производство морозильных камер, камер шоковой заморозки	158,7	5318,57	23,88	6,65
13	Производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	158,7	5256,00	23,60	6,72
14	Производство холодильных камер со стеклянным фронтом	48,3	1752,00	7,87	6,14
15	Склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов	298,2	9198,00	41,30	7,22
16	Администрация и заводоуправление	48	1689,43	7,59	6,33
Прилегающие территории		10,8	1501,71	6,74	1,60
Итого		2130,3	73709,14	330,954	—

Окупаемость системы освещения промышленного объекта достигается не более чем за семь лет.

Исходя из полученных результатов, получаем картограмму электрических нагрузок (рисунок 21).

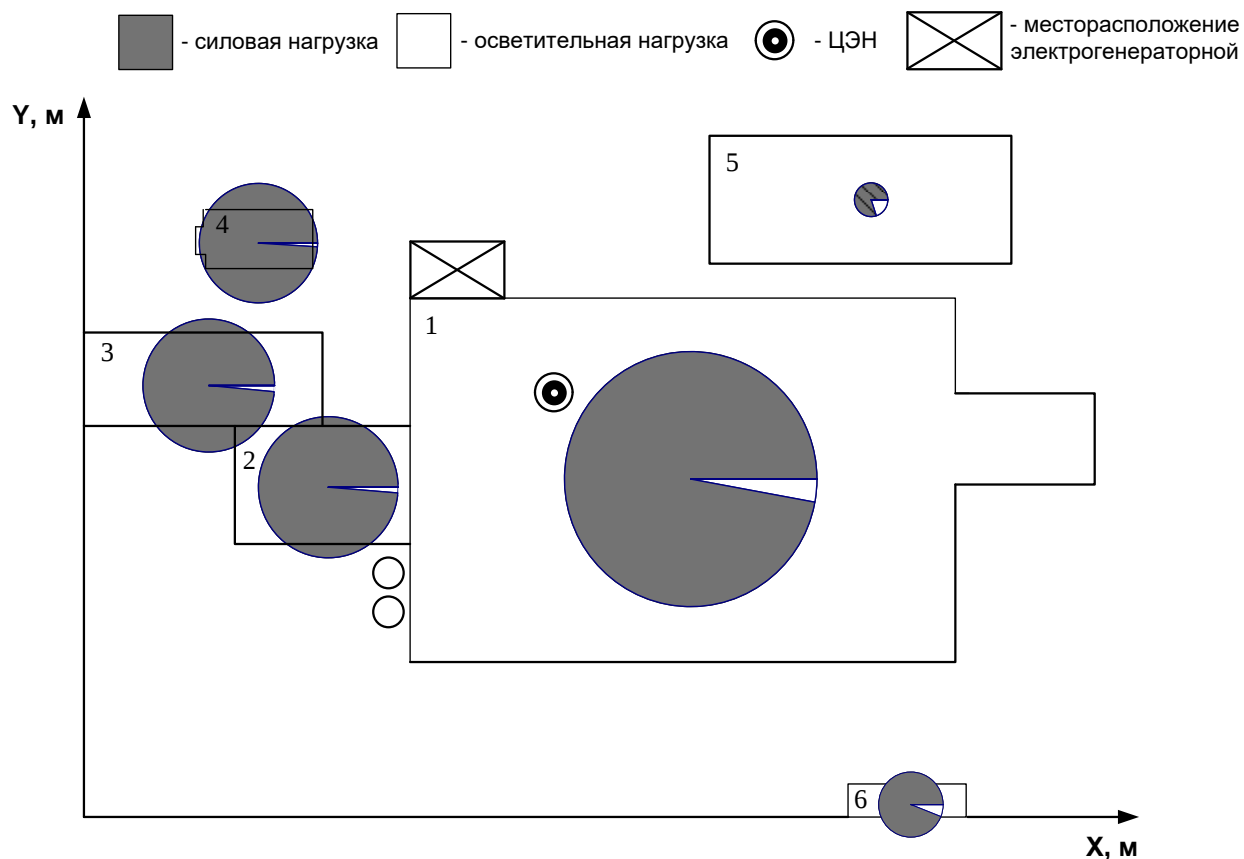


Рисунок 21 – Картограмма электрических нагрузок завода по производству холодильного оборудования

Электрогенераторная располагается вблизи центра максимальной нагрузки, реконструкция распределительной сети не целесообразна.

Для анализа потерь проведем перерасчет суммарных электрических нагрузок с учетом модернизации освещения.

Силовая нагрузка рассчитана с учетом снижения потерь при замене электроприводов класса энергоэффективности IE2.

Полученный расчет нагрузки предприятия по производству холодильного оборудования представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет нагрузки предприятия по производству холодильного оборудования

Цех	Наименование цеха	Силовая нагрузка			Осветительная нагрузка			Общая нагрузка			
		P_p	Q_p	S_p	P_{po}	Q_{po}	S_{po}	$P_{p'}$	$Q_{p'}$	$S_{p'}$	I_p
		кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	А
11	Производство технологического холодильного оборудования и агрегатов общепромышленного исполнения	396,60	673,89	971,37	9,19	2,67	9,57	405,79	676,56	788,92	1138,71
12	Производство морозильных камер, камер шоковой заморозки	270,50	202,88	338,13	1,05	0,29	1,09	271,55	203,17	339,14	489,51
13	Производство холодильных шкафов, технологических и противопожарных дверей	155,36	149,15	215,36	1,02	0,29	1,06	156,38	149,44	216,3	312,2
14	Производство холодильных камер со стеклянным фронтом	55,60	52,26	76,31	0,33	0,08	0,34	55,93	52,34	76,6	110,56
15	Склад сортировки, сборки, а также погрузки агрегатов	15,60	10,14	18,61	2,11	0,55	2,18	17,71	10,69	20,69	29,86
16	Администрация и заводоуправление	41,00	24,19	47,60	0,57	0,19	0,60	41,57	24,38	48,19	69,56
Итого:		934,66	1112,50	1453,02	14,27	4,07	14,84	948,93	1116,57	1465,34	2115,04

Изначально, с учетом нагрузки освещения активная нагрузка составляла 1578 кВт, а полная мощность – 2114 кВА. Как известно, питание осуществляется с использованием двух установок G3512E по 1 МВт каждая (при $\cos\phi = 0,8$, соответственно $S = 1,25$ МВА), а в качестве резервного источника – два трансформатора ТМГ 1600/10, получающих питание от энергосистемы [20].

В период пиковых нагрузок предприятия и при отключении газопоршневых генераторных установок, дополнительная электроэнергия получается от силовых трансформаторов.

В результате проведения энергосберегающих мероприятий получаем активную мощность 949 кВт полную мощность предприятия 1465 кВА. В соответствии с этим даже в период пиковых нагрузок достаточно использования только лишь двух установок G3512E, а в остальное время, включающее себя также нерабочие смены, достаточно только одной установки.

Для определения энергетической эффективности проведем расчет при отключении одной из установок, а также снижения потерь силовых трансформаторов, воспользовавшись суточными графиками электрических нагрузок.

С 3 до 18 часов до внедрения энергосберегающих мероприятий в рабочие смены пять дней в неделю требовалась работа двух газотурбинных установок (рисунок 22). Теперь же, достаточно использования одной газотурбинной установки для обеспечения нужд предприятия, вторую установку применять в качестве резервной.

За год до внедрения энергосберегающих мероприятий установки вторая установка работала 3911 часов.

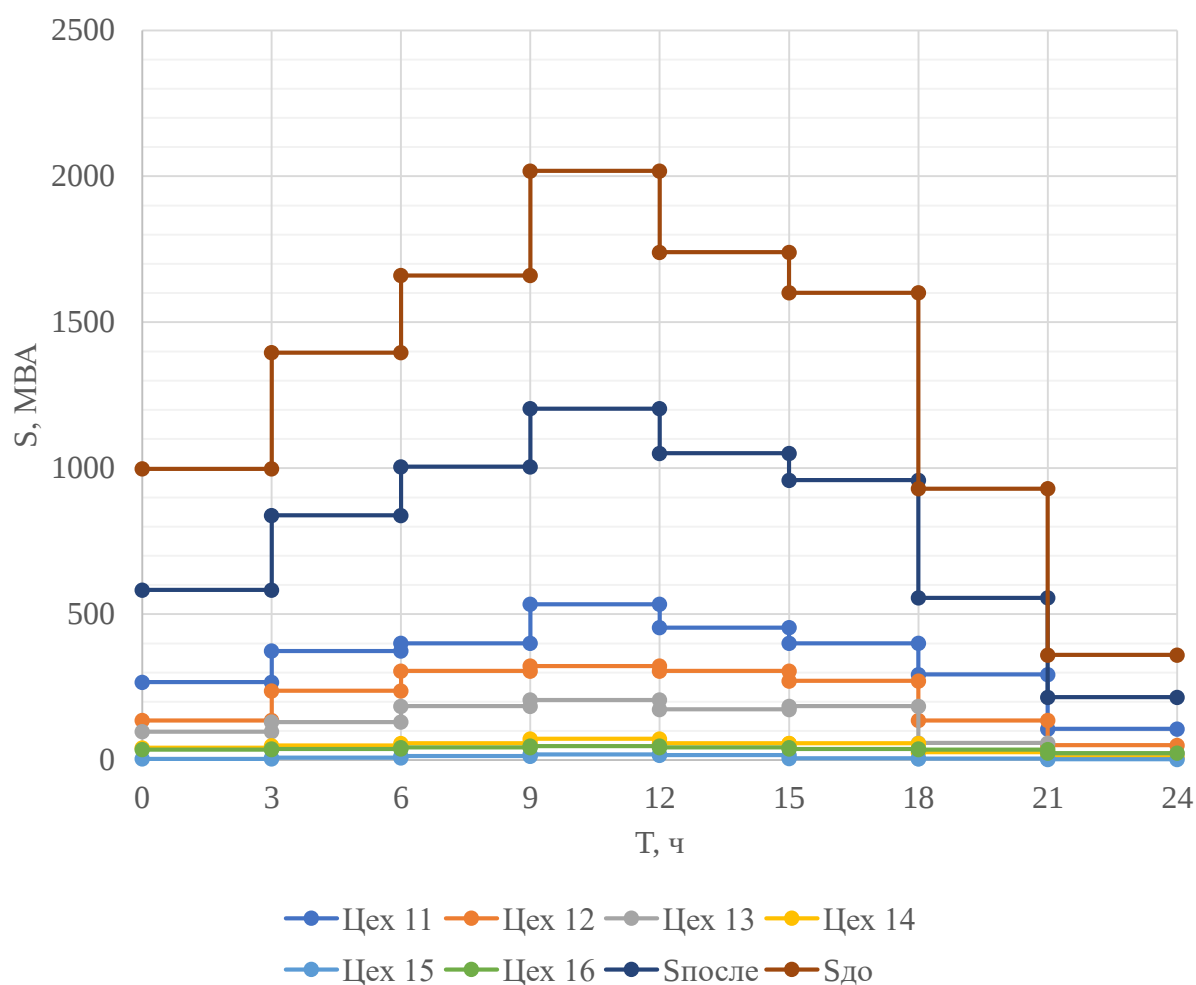


Рисунок 22 – График электрических нагрузок потребителей предприятия

Вывод по разделу

Снижение расхода электроэнергии привела к снижению расхода газа, путем отключения одной из газопоршневой установки.

Теплоизоляционные работы имеют срок окупаемости не более пяти лет.

Годовая экономия расхода газа составляет 962 тыс. м³ (потребитель 4 группы), соответственно тариф газа 6,3 руб/м³ [24]. Расход газа G3512E составляет не более 246 м³/ч, что требует 6,06 млн. руб.

Общая стоимость мероприятий составляет 22,9 млн. руб., поэтому средняя окупаемость мероприятий составляет 3,78 лет, т.е. не более четырех лет.

Заключение

При проведении анализа нормативно-правовой базы и законодательства выявлено, что в сфере промышленности повышению энергетической эффективности не отводится должного внимания.

Рассматриваемое предприятие является одним из крупных объектов промышленного сектора.

Исследуя рассматриваемый объект, выявлено, что оборудование производственных цехов и зданий использует электрическую и тепловую энергию неэффективно. В связи с этим установленные газопоршневые установки, применяемые для выработки электрической и тепловой энергии, имеют повышенный расход природного газа, используемого для работы предприятия.

«На основании данного исследования были использованы следующие энергосберегающие мероприятия:

- установлены электроприводы класса IE2 для снижения величины затрачиваемой электроэнергии. Величина потребляемой электроэнергии уменьшилась на 1699 МВтч/год при работе завода в две смены пять дней в неделю. Срок окупаемости при внедрении электроприводов класса IE2 составляет не более четырех лет» [11] при загрузке в среднем на 66%.
- смонтированы ПЧ для уменьшения величины потерь электроприводов оборудования предприятия на неполную нагрузку. ПЧ «позволили снизить потери электрической энергии на 1031 МВтч/год. Простой срок окупаемости» [5] составляет не превышает два года.
- модернизация системы освещения позволила снизить значение потребляемой электрической энергии на 73,71 МВтч/год. Средний срок окупаемости модернизации системы освещения составляет в среднем шесть лет.

- проведение теплоизоляционных работ уменьшило потери тепловой энергии на 24265 руб в год. Простой срок окупаемости теплоизоляционных работ составил менее пяти лет.
- снижение величины потребляемой энергии проведенными мероприятиями, позволило изменить режим работы газотурбинных установок, исключив затраты газа на одну из установок. Годовая экономия расхода газа составляет 962 тыс. м³, что соответствует финансовой экономии 6,06 млн. руб.

Научная новизна работы заключается в том, что применение электроприводов класса IE2 совместно с частотными преобразователями и современного освещения взамен технически и морально устаревшего оборудования обеспечивает снижение потребления первичных энергетических ресурсов (природного газа) на 923 тыс. м³ для выработки электрической энергии (уменьшилось на 2804 МВтч/год в совокупности) за счет оптимизации параметров режима работы газотурбинных установок и проведения теплоизоляционных работ.

Практическая значимость работы заключается в том, что «внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности предприятия позволяет снизить затраты на производство установок и агрегатов и холодильного оборудования» [7].

Список используемых источников

1. «Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. 415 с.
2. Афонин А. М. Энергосберегающие технологии в промышленности : учебное пособие / А.М. Афонин, Ю.Н. Царегородцев, А.М. Петрова, С.А. Петрова. – 2-е изд. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 271 с.
3. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода. Учебник. М.: СОЛОН-Пресс, 2020. 268 с.
4. 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» [10].
5. «ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707>» [5] (дата обращения: 20.11.2024).
6. «Колесников А.И., Федоров М.Н., Варфоломеев Ю.М. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях : Учебное пособие / Под общ.ред. М.Н. Федорова. – М.: ИНФРА-М, 2010. 124 с.
7. Кудинов А. А., С.К. Зиганшина Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения : монография. Москва : ИНФРА-М, 2021. 320 с.
8. Куликова Л. В. Общая энергетика : учебное пособие. 2-е изд. перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. 178 с» [8].

9. «Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Никитенко; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. 240 с» [9].

10. 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 20.11.2024).

11. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей : учеб. пособие. СПб. : НИУ ИТМО, 2013. 274 с.

12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Олышанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

13. 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 20.11.2024).

14. Протасевич А.М. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие / А.М. Протасевич. – Москва : ИНФРА-М, 2024. 286 с.

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

16. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения: учебник / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2022. 336 с» [16].

17. СП 50.13330.2012 Тепловая защита 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 20.11.2024).

18. «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 20.11.2024).

19. Тепловые машины [Электронный ресурс] : Интернет-энциклопедия Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловые_машины (дата обращения 20.11.2024)

20. Технические характеристики Caterpillar G3512E [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании по продаже, монтажу, аренде и сервисному обслуживанию электростанций. URL: <https://eraglobal.ru/catalog/gpu/caterpillar/Caterpillar-G3512E> (дата обращения 20.11.2024).

21. Утверждена энергетическая стратегия Российской Федерации [Электронный ресурс] : Официальный сайт Министерства энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/18038> (дата обращения 20.11.2024).

22. 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 20.11.2024) » [22].

23. 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 20.11.2024).

24. Цена на газ для юридических лиц и предпринимателей, граждан-пользователей нежилых помещений [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ОАО "Газпром". URL:

<https://www.mrg.tatar.ru/thepriceofgas/forlegalentities/> (дата обращения 20.11.2024).

25. Энергоэффективность электродвигателей [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «УЭСК». URL: <https://uesk.org/stati/energoeffektivnost-elektrovdigatelej/> (дата обращения 20.11.2024).

26. «Folasade M. Dahunsi, Sodiq O. Eniola, Akinlolu A. Ponnle, Olaide A. Agbolade, Charles N. Udekwe, Adegoke O. Melodi. A Review of Smart Energy Metering System Projects // Jurnal Elektronika dan telekomunikasi. Vol. 21, №1. 2021. p. 70-78.

27. Giulio Giaconi, Deniz Gündüz, Deniz Gündüz, H. Vincent Poor, H. Vincent Poor. Privacy-cost trade-offs in smart electricity metering systems // IET SMART GRID, Volume 3, Issue 5, October 2020, p. 596-604.

28. Mahmoud M. Badr, Mohamed I. Ibrahim, Hisham A. Kholidy, Mostafa M. Fouda, Muhammad Ismail. Review of the Data-Driven Methods for Electricity Fraud Detection in Smart Metering Systems // Energies, Vol. 16, №6. p. 2852.

29. Nils Kroener, Kevin Förderer, Manuel Lösch, Hartmut Schmeck. State-of-the-Art Integration of Decentralized Energy Management Systems into the German Smart Meter Gateway Infrastructure // Applied Sciences. Vol. 10, №11. 2020. p.3665.

30. Silvia Vitiello, Nikoleta Andreadou, Mircea Ardelean, Gianluca Fulli. Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the Green Deal // Energies. Vol. 15, №7. 2022. p.2340» [29].