

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

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

Энергосбережение и энергоаудит
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение энергоэффективности предприятия химической промышленности

Обучающийся

А.С. Корнев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Консультант

О.В. Мурдускина, к.филол.н., доцент, доцент

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

Тольятти 2022

Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлены результаты выполнения проекта реконструкции системы электроснабжения аммиачного производства химического завода, расположенного в городе Новомосковск, Московской области для повышения энергоэффективности. Выполнены расчеты электрических нагрузок химического предприятия до реконструкции. Выполненный расчет нагрузок до реконструкции позволил определить направления повышения энергетической эффективности, а также определить изменившиеся характеристики системы электроснабжения предприятия. Выполнен расчет нагрузок после реконструкции, произведен выбор высоковольтных двигателей, распределительных трансформаторов, кабелей, электрических аппаратов. Рассчитаны токи трехфазного и однофазного коротких замыканий.

Разработанные мероприятия предполагают перевод системы электроснабжения химического предприятия с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ. Для обоснования эффективности перевода системы электроснабжения на напряжение 10 кВ выполнен расчет технико-экономической эффективности и определен класс энергетической эффективности системы электроснабжения предприятия химической промышленности после реконструкции.

Выпускная квалификационная работа состоит из текстовой и графической частей. Текстовая часть представлена в виде пояснительной записки выполненной на 80 страницах. Пояснительная записка также содержит 15 таблиц и 3 рисунка. Список использованных источников включает в себя 27 наименований, в том числе 5 на английском языке. Графическая часть выполнена на 6 чертежах формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is «The Chemical Enterprise Energy Efficiency Increasing».

The key issue of the bachelor's work is the design of a power supply system for a chemical enterprise with a high energy efficiency index.

The aim of the bachelor's work is to increase the energy efficiency of the power supply system of a chemical enterprise through the adaptation of a modern technical solutions.

The aim of the bachelor's work is to increase the energy efficiency of the power supply system of a chemical enterprise through the adaptation of a modern technical solutions.

Bachelor work can be divided into the following, logically interconnected parts: a brief description of the object - the chemical enterprise, with the current power load level calculation; offering the engineering solutions that could be adopted into the power supply system of an enterprise to improve its energy efficiency; modifying the calculation of a power load level taking into account transferring of an in-enterprise power system voltage from the level of a 6 kV to 10 kV; high voltage power equipment selection for installing into the power supply system of a chemical enterprise during the modernization, all the power equipment require the replacement due to a rated voltage increase in the distribution grid; feasibility study of the solutions proposed for implementation by the project and determination of energy efficiency indexes for the enterprise after the implementation of the developed solutions.

In conclusion, we would like to emphasize that this work is relevant not only in solving the issue of energy efficiency increasing of the chemical enterprise. The obtained results could be used in the energy efficiency increasing of an enterprise in other industries. The bachelor work is also of practical interest, as it is aimed at solving problems approved by the government of the Russian Federation.

Содержание

Введение.....	5
1 Краткая характеристика объекта реконструкции	7
2 Расчет текущих электрических нагрузок объекта	9
3 Анализ возможности повышения напряжения распределительной сети системы электроснабжения аммиачного производства	17
4 Уточненный расчет электрических нагрузок объекта ВКР после реконструкции	21
5 Выбор высоковольтных электродвигателей.....	27
6 Выбор распределительных трансформаторов.....	32
7 Выбор кабелей	36
8 Расчет токов короткого замыкания	40
9 Выбор электрических аппаратов	46
10 Техничко-экономическая эффективность проекта повышения энергетической эффективности	52
11 Оценка энергетической эффективности системы электроснабжения после реконструкции	61
Заключение	72
Список используемых источников.....	78

Введение

Со временем эксплуатируемое электрооборудование систем электрохозяйства промышленных предприятий подвергается моральному и физическому износу. Для того чтобы повысить эффективность работы системы электрооборудования и электрохозяйства предприятий проводятся реконструкции.

Имеющееся электрооборудование аммиачного производства морально и физически изношено, это влечет за собой повышенные потери активной мощности в системе электрооборудования и электрохозяйства, высокую стоимость обслуживания электрооборудования, а также высокий уровень опасности для жизни персонала обслуживающего электрохозяйство аммиачного производства.

Реконструкция системы электрооборудования и электрохозяйства аммиачного производства повысит эффективность и надежность этой системы вследствие:

- Повышения класса напряжения системы электроснабжения с 6 до 10 кВ;
- Применения сухих распределительных трансформаторов вместо масляных;
- Применения вакуумных выключателей вместо масляных;
- Применения комплектных ТП и РП.

Целью выпускной квалификационной работы является выполнение проекта реконструкции системы электрооборудования и электрохозяйства аммиачного производства химического завода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи [3]:

- провести расчеты электрических нагрузок до и после реконструкции;

- перевести систему электрооборудования и электрохозяйства аммиачного производства с напряжения 6 кВ на 10 кВ;
- провести выбор высоковольтных электродвигателей;
- провести выбор распределительных трансформаторов, отдавая предпочтение сухим трансформаторам;
- провести выбор кабелей;
- провести расчет токов короткого замыкания;
- выполнить расчет заземления;
- провести выбор выключателей, отдавая предпочтение вакуумным выключателям, выбор измерительных трансформаторов, отдавая предпочтение сухим трансформаторам с литой изоляцией и пониженными значениями потерь холостого хода и короткого замыкания.

Все предлагаемые в рамках выполнения ВКР проектные решения и мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности предприятия химической промышленности, относятся к техническим мероприятиям, т.е. мероприятиям, связанным с заменой оборудования или модернизацией системы электроснабжения. Методики оценки технико-экономических показателей предлагаемых в проекте технических мероприятий определены для учебного проектирования. Для оценки энергетической эффективности системы электроснабжения предприятия химической промышленности разработана методика на основании существующих нормативных актов в части энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

1 Краткая характеристика объекта реконструкции

Объектом реконструкции является система электрооборудования и электрохозяйства аммиачного производства химического завода, расположенного в городе Новомосковск Тульской области.

Рассматриваемый химический завод занимается выпуском такой продукции как: аммиак, водород, карбамид, аммиачная селитра, метанол и др. Завод включает в себя следующие производства:

- аммиачное производство;
- производство водорода;
- производство метанола;
- вспомогательные цеха: ремонтно-механический, электроснабжения, теплосиловой.

Объект выпускной квалификационной работы, т.е. реконструируемое аммиачное производство химического предприятия включает в себя следующие цеха:

- цех производства аммиачной селитры;
- цех производства карбамида;
- цех производства азотной кислоты;
- цех конверсии.

Аммиачное производство химического предприятия относится к энергоемким производствам, большинство потребителей которого относятся к первой категории надежности электроснабжения. Электрооборудованию и электрохозяйству аммиачного производства должно уделяться большое внимание, т.к. подавляющему большинству технологических агрегатов для работы требуется электроэнергия, а выход из строя или остановка конкретного технологического агрегата может за собой повлечь угрозу для жизни персонала всего предприятия и даже близлежащих населенных пунктов. Существующая система электроснабжения аммиачного производства химического предприятия представлена девятью

распределительными пунктами (РП) напряжением 6 кВ:РП-67; РП-61; РП-65; РП-14; РП-17; РП-5; РП-13; РП-3; РП-4.

Питание РП осуществляется от трех понизительных подстанций глубокого ввода (ПГВ) расположенных на территории химического предприятия: ПГВ-1; ПГВ-2; ПГВ-3. Сами РП питают не только цеховые трансформаторные подстанции (ТП), но и высоковольтные электроприемники (ЭП) к которым относятся высоковольтные синхронные и асинхронные электрические двигатели.

Выводы по разделу 1. Рассмотрена структура химического предприятия с описанием входящих в его состав производств. Даны характеристики объектов, относящихся к системе электроснабжения аммиачного производства, выбранного в качестве объекта выпускной квалификационной работы (ВКР). Представлена структура системы электроснабжения химического предприятия и определены РП относящиеся к объекту ВКР – аммиачному производству химического предприятия.

2 Расчет текущих электрических нагрузок объекта

Расчетные нагрузки являются исходными данными для проектирования [13]. Расчет нагрузок ведется согласно методике представленной в [20].

В качестве примера приведем подробный расчет электрических нагрузок для РП-5, который относится к системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия.

Для расчета электрических нагрузок, на первом этапе, необходимо определить установленную активную мощность группы ЭП [9], для этого используется выражение (1):

$$P = n \cdot p_n, \quad (1)$$

где n – число ЭП в группе;

p_n – установленная мощность одного ЭП в группе, кВт.

Используя выражение (1) определяется установленная мощность группы высоковольтных асинхронных электродвигателей (АД) подключенных к сборным шинам РП-5:

$$P = n \cdot p_{\text{АД}} = 2 \cdot 630 = 1260 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

где n – число высоковольтных АД подключенных к РП-5, принимается

$$n = 2;$$

p_n – установленная мощность высоковольтного АД подключенного к РП-5, принимается мощность одного АД $p_{\text{АД}} = 630$ кВт.

Затем определяется среднесменная активная нагрузка группы высоковольтных АД по выражению (3):

$$P_c = K_{\text{и}} \cdot P \quad (3)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования, для данных АД принимается равным 0,8.

P – установленная мощность группы высоковольтных асинхронных электродвигателей, определенная в выражении (2).

Тогда по (3) среднесменная активная нагрузка группы высоковольтных АД для РП-5:

$$P_c = K_{\text{и}} \cdot P = 0,8 \cdot 1260 = 1008 \text{ (кВт)}$$

Теперь необходимо определить среднесменную реактивную нагрузку рассматриваемых высоковольтных АД (4):

$$Q_c = K_{\text{и}} \cdot P \cdot \text{tg}\varphi \quad (4)$$

где $\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности, принимается равным 0,51.

Используя (4) среднесменная реактивная нагрузка рассматриваемых высоковольтных АД:

$$Q_c = 0,8 \cdot 1260 \cdot 0,51 = 514,1 \text{ (квар)}$$

Для остальных ЭП расчет проводится согласно представленной методике (1) - (4), результаты расчетов представлены в таблице 1.

Теперь необходимо выполнить расчет электрических нагрузок в целом по РП. Сначала необходимо определить по справочным таблицам [20] коэффициент максимума. Коэффициент максимума определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и числа

присоединений на шинах рассматриваемого РП. Согласно [20] принимаем коэффициент максимума равным 0,95.

Для определения среднесменных активной и реактивной нагрузок на шинах РП используются выражения (5) и (6):

$$\sum P_c = K_M \cdot P_c, \quad (5)$$

$$\sum Q_c = K_M \cdot Q_c. \quad (6)$$

где K_M – коэффициент максимума, определяемый по [20] и принятый $K_M = 0,95$.

Для шин РП-5 согласно по (5) и (6) определяются значения среднесменных активной и реактивной нагрузок:

$$\sum P_c = 0,95 \cdot 4943,9 = 4696,7 \text{ (кВт)} \quad (7)$$

$$\sum Q_c = 0,95 \cdot 2802,9 = 2662,8 \text{ (квар)} \quad (8)$$

Для определения расчетной полной мощности используется выражение:

$$S_p = \sqrt{\sum P_c + \sum Q_c} \quad (9)$$

где $\sum P_c$ – суммарная среднесменная активная нагрузка, определяемая по выражению (5);

$\sum Q_c$ – суммарная среднесменная реактивная нагрузка, определяемая по выражению (6).

Расчетная полная мощность по (9) с учетом значений полученных в (7) и (8):

$$S_p = \sqrt{4696,75 + 2662,82} = 5339,1 \text{ (кВА)}$$

Ток на сборных шинах РП-5 определяется выражением:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (10)$$

где U – напряжение на шинах рассматриваемого РП, кВ.

По (10) ток на сборных шинах РП-5:

$$I_p = I_{p(6)} = \frac{5399,08}{\sqrt{3} \cdot 6} = 520,1 \text{ (A)}$$

Расчет нагрузок по остальным РП, а также по ПГВ выполняются аналогично. Все рассчитанные значения нагрузок приведены в таблице 1.

Выводы по разделу 2. Представлена методика расчета нагрузок согласно действующему нормативному акту [20]. Согласно методики выполнен подробный расчет электрических нагрузок для РП-5 системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия по выражениям (1) - (10). Составлена расчетная таблица 1, где определены все нагрузки элементов системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия и выполнен расчет нагрузок для всей системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия.

Таблица 1 - Значения расчетных электрических нагрузок объекта ВКР до реконструкции

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_n P_n$	$K_n P_n \text{tg}\phi$		активная, кВт	реактивная, квар	полная, кВА	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэффициент реактивной мощности							
		одного ЭП	общая									
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
ПП-67												
ТП-67	1	-	1305,632	0,57	0,85/0,62	744,21	461,4102	0,8	1459,368	783,8482	1656,5545	159,591
АД-400	3	400	1200	0,9	0,9/0,48	1080	518,4					
Σ	4	400	2505,632	0,728044	-	1824,21	979,8102					
ПП-61												
ТП-68	1	-	1718,941	0,68	0,86/0,59	1168,88	689,6392	0,95	8450,241	4519,21	9582,788	923,1973
ТП-62	1	-	1667,212	0,66	0,87/0,57	1100,36	627,2052					
ТП-63	1	-	2015,222	0,54	0,85/0,62	1088,22	674,6964					
ТП-64	1	-	1500,961	0,77	0,89/0,51	1155,74	589,4274					
ТП-61	2	-	1772,075	0,67	0,87/0,57	1187,29	676,7553					
АД-630	3	630	1890	0,9	0,91/0,46	1701	782,46					
АД-1250	1	1250	1250	0,91	0,9/0,48	1137,5	546					
АД-400	1	400	400	0,89	0,9/0,48	356	170,88					
Σ	11	-	12214,41	0,7282373	-	8894,99	4757,064					
ПП-65												
ТП-81	1	-	333,5	0,56	0,87/0,57	186,76	106,4532	0,9	1302,039	729,0056	1492,2314	143,7603
ТП-82	1	-	1053,06	0,67	0,85/0,62	705,55	437,441					
АД-630	1	630	630	0,88	0,9/0,48	554,4	266,112					

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
Σ	3	630	2016,56	0,7174149	-	1446,71	810,0062	-	-	-	-	-
ГПП-1												
РП-61	1	-	7691,56	0,73	-	8450,241	4519,21	1	16913,18	9389,428	19344,687	1863,65
РП-65	1	-	12578,38	0,72	-	1302,039	729,0056					
РП-67	1	-	1635,67	0,73	-	1459,368	783,8482					
ТП-52	1	-	2178,727	0,55	0,85/0,62	1198,3	742,946					
ТП-53	1	-	1711,284	0,67	0,85/0,62	1146,56	710,8672					
ТП-57	1	-	1828,7	0,6	0,89/0,51	1097,22	559,5822					
ТП-71	1	-	1602,549	0,71	0,87/0,57	1137,81	648,5517					
ТП-72	1	-	1515,73	0,74	0,85/0,62	1121,64	695,4168					
Σ	8	-	30742,6	0,55	-	16913,18	9389,428					
ПП-14												
ТП-14	1	-	1735,781	0,64	0,85/0,62	1110,9	688,758	0,9	3734,55	2003,641	4238,0941	408,2942
ТП-47	1	-	1966,607	0,56	0,86/0,59	1101,3	649,767					
АД-320	2	320	640	0,8	0,89/0,51	512	261,12					
АД-630	3	630	1890	0,8	0,9/0,48	1512	725,76					
АД-340	1	340	340	0,8	0,89/0,51	272	138,72					
АД-295	1	295	295	0,8	0,89/0,51	236	120,36					
Σ	9	1585	6867,388	0,6908303	-	4744,2	2584,485					
ПП-17												
ТП-17	1	-	1949,77	0,61	0,85/0,62	1189,36	737,4032	0,95	4826,342	2518,035	5443,7191	524,4431
СД-1250	2	1250	2500	0,95	0,9/0,48	2375	1140					
АД-320	5	320	1600	0,8	0,89/0,51	1280	652,8					
АД-295	1	295	295	0,8	0,89/0,51	236	120,36					

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
Σ	9	1865	6344,77	0,8007161	-	5080,36	2650,563	-	-	-	-	-
ПП-5												
ТП-11	1	-	2952,05	0,6	0,85/0,62	1771,23	1098,163	0,95	4696,753	2662,823	5399,0841	520,143
ТП-8	1	-	2676,593	0,54	0,87/0,57	1445,36	823,8552					
ТП-5	1	-	1498,667	0,48	0,89/0,51	719,36	366,8736					
ТП-7	1	-	1437,216	0,51	0,86/0,59	732,98	432,4582					
АД-630	2	630	1260	0,8	0,89/0,51	1008	514,08					
Σ	6	630	8387,309	0,589456	-	4943,95	2802,971					
ГПП-2												
РП-14	1	-	6867,388	0,7	-	3734,55	2003,641	1	17152,62	7184,499	18596,493	1791,57
РП-17	1	-	6344,77	0,82	-	4826,342	2518,035					
РП-5	1	-	8387,309	0,6	-	4696,753	2662,823					
АД-1600	2	1600	3200	0,88	0,91/0,46	2816	1295,36					
ТП-33	1	-	2202	0,49	0,87/0,57	1078,98	615,0186					
Σ	6	-	27001,47	0,6352478	-	17152,62	7184,499					
ПП-13												
ТП-13	1	-	2603,705	0,44	0,85/0,62	1145,63	710,2906	0,9	6525,477	3330,46	7326,2412	705,8036
СД-1000	4	1000	4000	0,8	0,9/0,48	3200	1536					
АД-210	4	210	840	0,92	0,88/0,54	772,8	417,312					
АД-250	2	250	500	0,9	0,89/0,51	450	229,5					
АД-630	3	630	1890	0,89	0,9/0,48	1682,1	807,408					
Σ	14	-	9833,705	0,7373142	-	7250,53	3700,511					
ПП-3												
ТП-3	1	-	1674,133	0,45	0,87/0,57	753,36	429,4152	0,95	10150,62	5335,627	11467,517	1104,77

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
ТП-6	1	-	1723,333	0,69	0,85/0,62	1189,1	737,242	-	-	-	-	-
АД-1600	6	1600	9600	0,88	0,89/0,51	8448	4308,48					
АД-320	1	320	320	0,92	0,9/0,48	294,4	141,312					
-	9	1920	13317,47	0,8023193	-	10684,86	5616,449					
РП-4												
ТП-7	1	-	2304,412	0,51	0,86/0,59	1175,25	693,3975	1	8215,25	4706,198	9467,7678	912,1164
АД-1600	5	1600	8000	0,88	0,87/0,57	7040	4012,8					
-	7	1600	10304,41	0,7972556	-	8215,25	4706,198					
ГПП-3												
РП-13	1	-	6525,477	0,74	-	6525,477	3330,46	1	28103,46	13372,28	31122,703	2998,334
РП-3	1	-	10150,62	0,80	-	10150,62	5335,627					
РП-4	1	-	8215,25	0,80	-	8215,25	4706,198					
ТП-24	1	-	1802,23	0,61	0,89/0,51	1099,36	560,6736					
ТП-9	1	-	1627,507	0,69	0,85/0,62	1122,98	696,2476					
ТП-10	1	-	1706,517	0,58	0,87/0,57	989,78	564,1746					
-	3	-	30027,6	0,94	-	28103,46	13372,28					

3 Анализ возможности повышения напряжения распределительной сети системы электроснабжения аммиачного производства

В процессе проектирования предлагается, как одна из мер по повышению энергетической эффективности объекта ВКР -аммиачного производства химического предприятия, рассмотреть возможность перевода распределительных электрических сетей с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ. Данное мероприятие, связанное с повышением напряжения распределительной сети аммиачного производства химического предприятия позволит:

- снизить ток в кабельных линиях, а также на шинах подстанций и распределительных пунктов;
- снизить сечение кабелей распределительной сети;
- снизить потери активной мощности в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия;
- снизить падение напряжения в линиях распределительной сети аммиачного производства химического предприятия.

Для технической оценки целесообразности перевода распределительной сети на напряжение 10 кВ необходимо выполнить расчет потери в кабельных линиях, на примере питающей кабельной линии самого загруженного РП-3.

Потери активной мощности в кабельных линиях определяются следующим выражением:

$$\Delta P = \frac{P^2 + jQ^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r \quad (11)$$

где P – активная мощность передаваемая через линию, кВт;

Q – реактивная мощность, передаваемая через линию, квар;

r – активное сопротивление линии, Ом;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, кВ.

Согласно (11) потери активной мощности в линии обратно пропорциональны квадрату напряжения, поэтому такое мероприятие, как повышение напряжения является действенным при повышении энергетической эффективности.

Потери активной мощности по (11) при использовании напряжения 6 кВ для питания наиболее загруженной ТП-3 составят:

$$\Delta P_{(6)} = \frac{10150,62^2 + j5335,62^2}{6^2} \cdot 0,0075 = 2,38 \text{ (кВт)} \quad (12)$$

Потери активной мощности по (11) при использовании напряжения 10 кВ для питания наиболее загруженной ТП-3 составят:

$$\Delta P_{(10)} = \frac{10150,62^2 + j5335,62^2}{10^2} \cdot 0,0075 = 0,86 \text{ (Вт)} \quad (13)$$

Потери напряжения в линии определяются по выражению:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r}{U_{\text{ном}}} \cdot l \quad (14)$$

где l – длина кабельной линии, км.

Потери напряжения согласно (14) обратно пропорциональны напряжению питающей линии, поэтому данное мероприятие позволит снизить потери напряжения во всех питающих линиях, тем самым повысить энергетическую эффективность предприятия в целом. Для оценки снижения потерь напряжения выполним сравнительный расчет для наиболее загруженной линии питающей ТП-3.

Потери напряжения в линии по (14) для линии питающей наиболее загруженную ТП-3 при напряжении 6 кВ:

$$\Delta U_{(6)} = \frac{10150,62 \cdot 0,054 + 5335,62 \cdot 0,019}{6} \cdot 0,26 = 28,1 \text{ (В)} \quad (15)$$

Потери напряжения в линии по (14) для линии питающей наиболее загруженную ТП-3 при напряжении 10 кВ:

$$\Delta U_{(10)} = \frac{10150,62 \cdot 0,054 + 5335,62 \cdot 0,019}{10} \cdot 0,26 = 16,8 \text{ (В)} \quad (16)$$

Сравним значения потерь активной мощности полученные в (12) и (13):

$$\frac{\Delta P_{(10)}}{\Delta P_{(6)}} \cdot 100 = \frac{990}{2750} \cdot 100 = 36 \text{ (\%)} \quad (17)$$

Сравним значения потерь напряжения полученных в выражениях (15) и (16):

$$\frac{\Delta U_{(10)}}{\Delta U_{(6)}} \cdot 100 = \frac{16,8}{28,1} \cdot 100 = 59,78 \text{ (\%)} \quad (18)$$

Как видно из выражения (17) потери активной мощности снизятся на 36%, а из выражения (18) видно что потери напряжения снизятся на 59,8% при переводе распределительной сети с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ.

Перевод распределительной сети аммиачного производства химического предприятия с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ потребует замены высоковольтных электрических двигателей, участвующих в технологическом процессе, данный вопрос также рассмотрен в ВКР.

Выводы по разделу 3. Для повышения энергетической эффективности системы электроснабжения химического предприятия выполнен расчетный анализ технических показателей системы электроснабжения при переводе ее

с номинального напряжения питания 6 кВ на напряжение 10 кВ. Данное техническое мероприятие позволит снизить ток в кабельных линиях, а также на шинах подстанций и распределительных пунктов; снизить сечение кабелей распределительной сети; снизить потери активной мощности в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия; снизить падение напряжения в линиях распределительной сети аммиачного производства химического предприятия.

Оценка эффективности внедрения указанного мероприятия выполнена путем определения потерь активной мощности и потерь напряжения при передаче мощности по однопроволочным кабельным линиям. Полученные потери мощности и напряжения для каждого номинального напряжения (6 кВ и 10 кВ) были сравнены между собой. Получено, что снижение потерь активной мощности в системе электроснабжения при переводе ее с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ достигнет 36%, а снижение потерь напряжения достигнет 59,87%. Полученные значения позволяют сделать вывод о целесообразности проведения дальнейших расчетов проекта реконструкции системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия с более детальной оценкой технико-экономических показателей проекта реконструкции.

4 Уточненный расчет электрических нагрузок объекта ВКР после реконструкции

При переводе распределительной сети химического предприятия на напряжение 10 кВ, как было отмечено ранее, изменится ток на шинах РП, ТП, а также в кабельных линиях распределительной сети аммиачного производства [15]. При этом мощности ЭП не изменяются. Нужно выполнить уточненный расчет электрических нагрузок аммиачного производства химического предприятия после реконструкции с условием перехода на класс напряжения 10 кВ. В пункте 2 ВКР была рассмотрена методика определения расчетных нагрузок. В качестве примера был выполнен расчет нагрузок для РП-5. Для рассмотренного в пункте 2 ВКР примера расчета, при переводе распределительной сети на напряжение 10 кВ ток на шинах РП-5 согласно выражению (10) составит:

$$I_{p(10)} = \frac{5399,08}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 297,2 \text{ (A)}$$

Можно увидеть, что сила тока на напряжении 10 кВ $I_{p(10)}$ ниже, чем на напряжении 6 кВ $I_{p(6)}$. Определим количественное отношение по выражению:

$$\left(1 - \frac{I_{p(10)}}{I_{p(6)}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{297,2}{520,1}\right) \cdot 100 = 42,86 \% \quad (19)$$

По (19) получено, что на напряжении 10 кВ ток в линии ниже на 42,86% процента. Далее выполним уточнённый расчет электрических нагрузок по методике (1) - (10), но только с учетом напряжения распределительной сети равным 10 кВ. Все результаты уточненного расчета сведём в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчет электрических нагрузок после реконструкции и перехода на напряжение 10 кВ

Исходные данные				Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А		
по заданию технологов		по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n \text{tg}\phi$		активная, кВт	реактивная, квар	полная, кВА			
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт*										
1	2	одного ЭП	общая	коэффициент использования	коэффициент реактивной мощности	7	8	11	12	13	14	15
РП-67												
ТП-67	1	-	1305,63 2	0,57	0,85/0,62	744,21	461,410 2	0,8	1459,368	783,8482	1656,554 5	91,19485
АД-400	3	400	1200	0,9	0,9/0,48	1080	518,4					
-	5	400	2505,63 2	0,728044	-	1824,2 1	979,810 2					
РП-61												
ТП-68	1	-	1718,94 1	0,68	0,86/0,59	1168,8 8	689,639 2	0,95	8450,241	4519,21	9582,788	527,5413
ТП-62	1	-	1667,21 2	0,66	0,87/0,57	1100,3 6	627,205 2					
ТП-63	1	-	2015,22 2	0,54	0,85/0,62	1088,2 2	674,696 4					
ТП-64	1	-	1500,96 1	0,77	0,89/0,51	1155,7 4	589,427 4					
ТП-61	2	-	1772,07 5	0,67	0,87/0,57	1187,2 9	676,755 3					
АД-630	3	630	1890	0,9	0,91/0,46	1701	782,46					

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
РП-65												
ТП-81	1	-	333,5	0,56	0,87/0,57	186,76	106,4532	0,9	1302,039	729,0056	1492,2314	82,14872
ТП-82	1	-	1053,06	0,67	0,85/0,62	705,55	437,441					
АД-630	1	630	630	0,88	0,9/0,48	554,4	266,112					
-	5	630	2016,56	0,7174149	-	1446,71	810,0062					
ГПП-1												
РП-61	1	-	7691,56	0,73	-	8450,241	4519,21	1	16913,18	9389,428	19344,687	1064,943
РП-65	1	-	12578,38	0,72	-	1302,039	729,0056					
РП-67	1	-	1635,67	0,73	-	1459,368	783,8482					
ТП-52	1	-	2178,727	0,55	0,85/0,62	1198,3	742,946					
ТП-53	1	-	1711,284	0,67	0,85/0,62	1146,56	710,8672					
ТП-57	1	-	1828,7	0,6	0,89/0,51	1097,22	559,5822					
ТП-71	1	-	1602,549	0,71	0,87/0,57	1137,81	648,5517					
ТП-72	1	-	1515,73	0,74	0,85/0,62	1121,64	695,4168					
-	3	-	30742,6	0,55	-	16913,18	9389,428					
РП-14												
ТП-14	1		1735,781	0,64	0,85/0,62	1110,9	688,758	0,9	3734,55	2003,641	4238,0941	244,9765
ТП-47	1		1966,607	0,56	0,86/0,59	1101,3	649,767					
АД-320	2	320	640	0,8	0,89/0,51	512	261,12					
АД2-630	3	630	1890	0,8	0,9/0,48	1512	725,76					
АД-340	1	340	340	0,8	0,89/0,51	272	138,72					
АД-1250	1	1250	1250	0,91	0,9/0,48	1137,5	546					
АД-400	1	400	400	0,89	0,9/0,48	356	170,88					
-	11	-	12214,41	0,7282373	-	8894,99	4757,064					

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
АД-295	1	295	295	0,8	0,89/0,51	236	120,36	-	-	-	-	-
-	9	1585	6867,388	0,6908303	-	4744,2	2584,485					
РП-17												
ТП-17	1		1949,77	0,61	0,85/0,62	1189,36	737,4032	0,95	4826,342	2518,035	5443,7191	299,6818
СД-1250	2	1250	2500	0,95	0,9/0,48	2375	1140	-	-	-	-	-
АД-320	5	320	1600	0,8	0,89/0,51	1280	652,8					
АД-295	1	295	295	0,8	0,89/0,51	236	120,36					
-	9	1865	6344,77	0,8007161	-	5080,36	2650,563					
РП-5												
ТП-11	1	-	2952,05	0,6	0,85/0,62	1771,23	1098,163	0,95	4696,753	2662,823	5399,0841	297,2246
ТП-8	1	-	2676,593	0,54	0,87/0,57	1445,36	823,8552					
ТП-5	1	-	1498,667	0,48	0,89/0,51	719,36	366,8736					
ТП-7	1	-	1437,216	0,51	0,86/0,59	732,98	432,4582					
АД-630	2	630	1260	0,8	0,89/0,51	1008	514,08					
-	6	630	8387,309	0,589456	-	4943,95	2802,971					
ГПП-2												
РП-14	1	-	6867,388	0,7	-	3734,55	2003,641	1	17152,62	7184,499	18596,493	1023,754
РП-17	1	-	6344,77	0,82	-	4826,342	2518,035					
РП-5	1	-	8387,309	0,6	-	4696,753	2662,823					
АД-1600	2	1600	3200	0,88	0,91/0,46	2816	1295,36					
ТП-33	1	-	2202	0,49	0,87/0,57	1078,98	615,0186					
-	-	-	27001,47	0,6352478	-	17152,62	7184,499					
РП-13												

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
ТП-13	1	-	2603,705	0,44	0,85/0,62	1145,63	710,2906	0,9	6525,477	3330,46	7326,2412	403,3163
СД-1000	4	1000	4000	0,8	0,9/0,48	3200	1536	-	-	-	-	-
АД-210	4	210	840	0,92	0,88/0,54	772,8	417,312	-	-	-	-	-
АД-250	2	250	500	0,9	0,89/0,51	450	229,5	-	-	-	-	-
АД-630	3	630	1890	0,89	0,9/0,48	1682,1	807,408	-	-	-	-	-
-	14	-	9833,705	0,7373142	-	7250,53	3700,511	-	-	-	-	-
ПП-3												
ТП-3	1	-	1674,133	0,45	0,87/0,57	753,36	429,4152	0,95	10150,62	5335,627	11467,517	631,2974
ТП-6	1	-	1723,333	0,69	0,85/0,62	1189,1	737,242					
АД-1600	6	1600	9600	0,88	0,89/0,51	8448	4308,48					
АД-320	1	320	320	0,92	0,9/0,48	294,4	141,312					
-	9	1920	13317,47	0,8023193	-	10684,86	5616,449					
ПП-4												
ТП-7	1	-	2304,412	0,51	0,86/0,59	1175,25	693,3975	1	8215,25	4706,198	9467,7678	521,2093
АД-1600	5	1600	8000	0,88	0,87/0,57	7040	4012,8					
-	7	1600	10304,41	0,7972556	-	8215,25	4706,198					
ГПП-3												
РП-13	1	-	6525,477	0,74	-	6525,477	3330,46	1	28103,46	13372,28	31122,703	1713,334
РП-3	1	-	10150,62	0,80	-	10150,62	5335,627					
РП-4	1	-	8215,25	0,80	-	8215,25	4706,198					
ТП-24	1	-	1802,23	0,61	0,89/0,51	1099,36	560,6736					
ТП-9	1	-	1627,507	0,69	0,85/0,62	1122,98	696,2476					
ТП-10	1	-	1706,517	0,58	0,87/0,57	989,78	564,1746					
-	3	-	30027,6	0,94	-	28103,46	13372,28					

Выводы по разделу 4. Согласно методике представленной в разделе 2 ВКР выполнен подробный расчет электрических нагрузок системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия по выражениям (1) - (10). Составлена расчетная таблица 2 по аналогии с расчетной таблицей 1, где определены все нагрузки элементов системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия и выполнен расчет нагрузок для всей системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. В уточненном расчете электрических нагрузок химического предприятия учтен перевод всей системы электроснабжения аммиачного производства на напряжение 10 кВ. Для подтверждения эффективности предлагаемого мероприятия выполнен уточненный расчет значения расчетного тока в наиболее загруженной кабельной линии при переводе на напряжение 10 кВ. Снижение тока в наиболее нагруженной линии согласно выражению (19) составило 42,86 % в относительных единицах и на 222,9 А в именованных единицах. Такое снижения тока в линиях позволит использовать кабели в распределительной сети с меньшим сечением токоведущих жил, а также снизит потери электроэнергии в распределительной сети. Оценка потерь мощности и электроэнергии в системе электроснабжения будет оценена далее в рамках ВКР.

5 Выбор высоковольтных электродвигателей

Как говорилось ранее в п.3, в процессе проектирования предполагается переход от класса напряжения 6 кВ к классу напряжения 10 кВ. Соответственно появляется необходимость замены высоковольтных электродвигателей класса напряжения 6 кВ на высоковольтные электродвигатели класса напряжения 10 кВ с сохранением таких параметров как механическая мощность, частота вращения, номинальный момент и т.п. В данном пункте проводится выбор электродвигателей класса напряжения 10 кВ.

Выбор высоковольтных двигателей производится в соответствии с требованиями главы 5.3 Правил устройства электроустановок [18].

Выбор электродвигателей осуществляется в соответствии с требованиями [18]:

- электрические и механические параметры электродвигателей должны соответствовать параметрам приводимых во вращение механизмов;
- электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой должны иметь исполнение IP00 или IP20;
- электродвигатели, устанавливаемые на открытом воздухе должны иметь исполнение не менее IP44;
- электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с химически активными парами и газами должны иметь исполнение не менее IP44.

К установке принимаются синхронные [17] и асинхронные двигатели класса напряжения 10 кВ. Такие двигатели имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогами рассчитанных на напряжение 6 кВ:

- потребляемый ток двигателем напряжением 10 кВ гораздо ниже, чем у двигателя на напряжение 6 кВ;
- снижается нагрев обмотки статора;

– снижаются потери.

К установке принимаются асинхронные двигатели производства российской компании ОАО «Русэлпром» серии ДА304, ДА30, а так же двигатели компании Siemens (пр-ва Германия). В качестве синхронных двигателей выбраны двигатели СТД и ДСВ производства ОАО «Русэлпром». Паспортные данные всех выбранных электродвигателей и места их установки представлены в таблицах 3-6.

Таблица 3 - Выбираемые высоковольтные асинхронные электродвигатели серии ДА304

Точка питания ЭД	Типоразмер ЭД	Обозначение согласно схемы	Тип ЭД	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	КПД, %	Вид механической нагрузки двигателя
1	2	3	4	5	6	7	8	9
РП67	ДА304-85/43-4У1	ДН 1	АД	400	1500	10000	94	Циркуляционный насос
	ДА304-85/43-4У1	ДН 2	АД	400	1500	10000	94	Циркуляционный насос
	ДА304-85/43-4У1	ДН 3	АД	400	1500	10000	94,1	Циркуляционный насос
РП61	ДА304-85/82-4	ДВ 1	АД	630	750	10000	94,5	Вентилятор
	ДА304-85/82-4	ДВ 2	АД	630	750	10000	94,5	Вентилятор
	ДА304-85/55-4	АД 1	АД	1250	1000	10000	94,1	Аммиачный насос
	ДА304-85/43-К4У1	АД 2	АД	400	1000	10000	94,5	Аммиачный насос
РП65	ДА304-85/49-4	АД 1	АД	630	1500	10000	94,1	Газодувка
РП14	ДА304-85/49-К4	АД 1	АД	630	1000	10000	94,5	Насос

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
РП14	ДА304-85/37-4	АД 2	АД	320	1500	10000	94,5	Циркуляционный насос
	ДА304-85/49-4	АД 3	АД	630	1500	10000	94,1	Конденсатный насос
	ДА304-76/42-4	АД 6	АД	295	750	10000	95	Вентилятор
	ДА304-76/42-4	АД 7	АД	295	750	10000	95	Вентилятор
РП17	ДА304-85/37К-4	АД 2	АД	320	1500	10000	94,5	Конденсатный насос
	ДА304-85/37-4	АД 3	АД	320	1000	10000	94,3	Дымосос
	ДА304-85/37-4	АД 4	АД	320	1000	10000	94,3	Дымосос
	ДА304-76/35-4	АД 5	АД	320	1000	10000	94,3	Дымосос
	ДА304-65/52-4	АД 6	АД	295	750	10000	95	Вентилятор
РП5	ДА304-85/49-4	АД 1	АД	630	750	10000	94,2	Вентилятор
РП13	ДА304-65/49-4	ДВ 1	АД	210	1500	10000	95,2	Агрегатный насос
	ДА304-65/52-4	ДВ 2	АД	250	1000	10000	95,3	Вентилятор
	ДА304-65/49-4	ДВ 3	АД	210	1500	10000	95,2	Агрегатный насос
	ДА304-65/52-4	ДВ 4	АД	250	1000	10000	95,3	Агрегатный насос
	ДА304-65/49-4	ДВ-5	АД	210	1500	10000	95,2	Агрегатный насос
	ДА304-65/49-4	ДВ 6	АД	210	1500	10000	95,2	Агрегатный насос
	ДА304-85/49-4	ДН 1	АД	630	1500	10000	94,1	Водный насос
	ДА304-85/49-4	ДН 2	АД	630	1500	10000	94,1	Водный насос
	ДА304-85/49-4	ДН 3	АД	630	1500	10000	94,1	Водный насос
РП3	ДА304-85/37-4	АД 4	АД	320	1000	10000	94,3	Дымосос

Таблица 4 - Выбираемые высоковольтные синхронные электродвигатели серии ДСВ

Точка питания ЭД	Типоразмер ЭД	Обозначение согласно схемы	Тип ЭД	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	КПД, %	Вид механической нагрузки двигателя
РП 13	СТД-1000-23УХЛ4	СД 1	СД	1000	3000	10	96	Компрессор
	СТД-1000-43УХЛ4	СД 2	СД	1000	600	10	96	Циркуляционный насос

Таблица 5 - Выбираемые высоковольтные синхронные электродвигатели серии СТД

Точка питания ЭД	Типоразмер ЭД	Обозначение согласно схемы	Тип ЭД	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	КПД, %	Вид механической нагрузки двигателя
РП17	СТД-1250-23УХЛ4	СД 3	СД	1250	3000	10	96,5	Газодувка
	СТД-1250-23УХЛ4	СД 4	СД	1250	3000	10	96,5	Газодувка

Таблица 6 - Выбираемые высоковольтные асинхронные электродвигатели производства Siemens

Точка питания ЭД	Типоразмер ЭД	Обозначение согласно схемы	Тип ЭД	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	КПД, %	Вид механической нагрузки двигателя
1	2	3	4	5	6	7	8	9
РП14	1RA1 406-8HA60	АД 5	АД	630	750	10	94,9	Вентилятор

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГПП 2	1RA1 452-4HA60	АД 3	АД	1600	1500	10	95,7	Циркуляционный насос
РПЗ	1RA1 452-4HA60	ТК 1	АД	1600	1500	10	95,7	Газодувка
	1RA1 452-4HA60	ТК 2	АД	1600	1500	10	95,7	Газодувка
РПЗ	1RA1 452-4HA60	ТК 3	АД	1600	1500	10	95,7	Газодувка
	1RA1 452-4HA60	ТК 4	АД	1600	1500	10	95,7	Газодувка
	1RA1 452-4HA60	ТК 5	АД	1600	1500	10	95,7	Газодувка
	1RA1 452-4HA60	ТК 6	АД	1600	1500	10	95,7	Газодувка
РП4	1RA1 452-4HA60	ТК 6	АД	1600	1500	10	95,7	Компрессор
	1RA1 452-4HA60	ТК 7	АД	1600	1500	10	95,7	Компрессор
	1RA1 452-4HA60	ТК 8	АД	1600	1500	10	95,7	Компрессор
	1RA1 452-4HA60	ТК 9	АД	1600	1500	10	95,7	Компрессор
	1RA1 452-4HA60	ТК 10	АД	1600	1500	10	95,7	Компрессор

Выводы по разделу 5. Определен перечень и паспортные данные высоковольтных электродвигателей подлежащих замене в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия для повышения ее энергетической эффективности. Для каждого типа высоковольтного электрического двигателя определены типы механической нагрузки. Для замены выбраны высоковольтные асинхронные электрические двигатели серии ДА304 с номинальными мощностями от 210 до 1250 кВт. Выбраны два высоковольтных синхронных двигателя серии ДСВ с номинальными мощностями 1000 кВт. Выбраны два высоковольтных синхронных двигателя серии СТД мощность 1250 кВт. Также выбраны высоковольтные асинхронные электрические двигатели компании Siemens преимущественно с мощностью 1600 кВт и один двигатель мощностью 630 кВт.

6 Выбор распределительных трансформаторов

Распределительные трансформаторы являются источниками питания для цеховых ЭП напряжением 0,4 кВ. Выбор трансформаторов проводится по следующим параметрам [16]:

- мощности,
- напряжению,
- исполнению и т.д.

При выборе распределительных трансформаторов предполагается отдавать предпочтение сухим распределительным трансформаторам с литой изоляцией типа ТСЛ производства АО «Группа СВЭЛ». Предполагается установка сухих трансформаторов с литой изоляцией в местах с высоким классом по пожароопасности. Применение сухих трансформаторов с литой изоляцией позволяет значительно снизить риск возникновения пожара, а также позволяет снизить эксплуатационные затраты.

Для выбора трансформаторов ТП необходимо по расчетным нагрузкам с учетом коэффициента перегрузки и $\cos\varphi$ определить необходимую мощность трансформатора.

Необходимая мощность трансформатора определяется выражением:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{P_p}{k_{\text{пер}} \cdot (n - 1) \cdot \cos\varphi} \quad (20)$$

где P_p – расчетная активная мощность на шинах цеховой ТП, кВт;

$k_{\text{пер}}$ – перегрузочная способность трансформатора;

n – число трансформаторов.

Определяется необходимая мощность трансформатора ТП-67 по выражению (20):

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{744,2}{1,4 \cdot (2 - 1) \cdot 0,85} = 525,3 \text{ (кВА)}$$

К установке принимаются 2 трансформатора типа ТСЛ номинальной мощностью 630 кВА каждый

Нужно определить потери активной и реактивной мощностей в выбранных трансформаторах используя выражения (21) и (22):

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{XX} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}) \quad (21)$$

где N_T – число трансформаторов;

ΔP_{XX} – активные потери холостого хода, кВт;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

ΔP_{K3} – активные потери короткого замыкания, кВт.

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (I_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_T}{100} \quad (22)$$

где I_0 – ток холостого хода трансформатора, %;

U_{K3} – напряжение короткого замыкания, %.

S_T – полная мощность трансформатора, кВА.

Определяются потери активной и реактивной мощности в трансформаторах по (21) и (22):

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= 2 \cdot (1,15 + 0,7^2 \cdot 6,8) = 6,96 \text{ (кВт)} \\ \Delta Q_T &= 2 \cdot (0,8 + 0,7^2 \cdot 6,8) \cdot \frac{630}{100} = 44,0 \text{ (квар)} \end{aligned}$$

Все выбранные трансформаторы распределительной сети представлены в таблице 7, столбцы 7 и 8 заполнены с учетом значений полученных в выражениях (21) и (22) для каждого конкретного типа трансформатора.

Таблица 7 - Выбранные трансформаторы системы электроснабжения для повышения энергетической эффективности

Наименование	Число трансформаторов	Коэффициент мощности	Расчетная нагрузка			Потери				Тип трансформаторов
			кВт	квар	кВА	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар	ΔP_{XX} , Вт	ΔP_{K3} , Вт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП-67	2	0,85	744,2	461,41	875,6	6,96	44,0	1150	6650	ТСЛ 630/10
ТП-68	2	0,86	1168,88	461,41	1256,65	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-62	2	0,87	1100,36	627,20	1266,55	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-63	2	0,85	1088,22	674,6964	1280,40	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-64	2	0,89	1155,74	589,4274	1297,36	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-61	2	0,87	1187,29	676,7553	1366,61	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-81	2	0,87	186,76	106,4532	214,96	3,26	69,86	550	2150	ТСЛ 160/10
ТП-82	2	0,85	705,55	437,441	830,15	6,96	44,0	1150	6650	ТСЛ 630/10
ТП-52	2	0,85	1198,3	742,946	1409,92	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-53	2	0,85	1146,56	710,8672	1349,04	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-57	2	0,89	1097,22	559,5822	1097,22	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-71	2	0,87	1137,81	648,5517	1309,66	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-72	2	0,85	1121,64	695,4168	1121,64	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП-14	2	0,85	1110,9	688,758	1307,08	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-47	2	0,86	1101,3	649,767	1278,70	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-17	2	0,85	1189,36	737,4032	1399,40	8,56	69,86	1650	8650	ТСЛ 1000/10
ТП-11	2	0,85	1771,23	1098,163	2084,03	17,05	110,08	2370	11900	ТСЛ 1600/10
ТП-8	2	0,87	1445,36	823,8552	1663,66	14,70	88,5	1950	10200	ТСЛ 1250/10
ТП-5	2	0,89	719,36	366,8736	807,57	8,96	44,0	1150	6650	ТСЛ- 630/10
ТП-7	2	0,86	732,98	432,4582	924,24	8,96	44,0	1150	6650	ТСЛ- 630/10
ТП-33	2	0,87	1078,98	615,0186	1241,94	5,56	69,86	1650	8650	ТСЛ- 1000/10

Выводы по разделу 6. Представлена методика выбора распределительных трансформаторов исходя из мощности потребителей с учетом потерь в трансформаторе. Представлен подробный расчет выбора трансформатора для ТП-67 химического предприятия по указанной методике. Для ТП-67 выбрано два распределительных трансформатора марки ТСЛ-630/10/0,4. Для всех остальных цеховых трансформаторных подстанций выбраны также трансформаторы марки ТСЛ (трансформатор сухой с литой изоляцией) производства АО «Группа СВЭЛ» с мощностями от 630 кВА до 1600 кВА.

7 Выбор кабелей

Выбор сечения кабелей производится в соответствии с требованиями [18] и [17], а именно по длительно допустимому току.

Необходимо привести пример выбора кабеля от РП-61 до ТП-64 по длительно допустимому току.

Вначале определяем расчетный номинальный ток кабельной линии по выражению:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\phi} \quad (23)$$

Определяется расчетный номинальный ток по выражению (23):

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{1155,74}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,89} = 71,4 \text{ (А)}$$

Теперь необходимо согласно таблице 1.3.7 содержащейся в [18] выбрать нужное сечение по расчетному току с учетом способа прокладки. Для получившегося расчетного тока подходит сечение 25 мм², с учетом того, что кабельная линия прокладывается на технологической эстакаде (т.е. в воздухе) и жилы кабеля выполнены из алюминия.

К монтажу принимаются кабели российского производства компании ОАО «Севкабель». Результаты выбора сведены в таблицу 8.

Таблица 8 - Ведомость кабелей системы электроснабжения на напряжении 10 кВ

Фидер	Марка и сечение КЛ, мм ²	Способ прокладки	Длина, м
1	2	3	4
РП 67			
ТП 67	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	10
ДН 1	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	25

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
ДН 2	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	25
ДН 3	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	25
РП 61			
ТП 61	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	10
ТП 61	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	10
ТП-62	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	12
ТП-63	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	12
ТП-64	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	25
ТП-68	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	29
АД-1250	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	13
АД-400	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	15
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	28
РП-65			
ТП-81	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	55
ТП-82	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	40
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	22
ПГВ-1			
РП-61	АПвБВ 3×185мк/25-10	Галерея	224
РП-65	АПвБВнг(А)-LS 3×35мк/16-10	Эстакада	200
РП-67	АПвБВнг(А)-LS 3×50мк/25-10	Галерея	250
ТП-52	АПвБВнг(А)-LS 3×35мк/16-10	Галерея	67
ТП-53	АПвБВнг(А)-LS 3×35мк/16-10	Эстакада	60
ТП-57	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	65
ТП-57	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	10
ТП-71	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	20
ТП-72	АСБГ 3×25(ож)-10	Галерея	37
РП-14			
ТП-14	АСБГ 3×25(ож)-10	В земле	10
ТП-47	АСБГ 3×25(ож)-10	В земле	34
АД-320	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	22
АД-320	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	22
АД-340	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	40
АД-295	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	20
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	32
РП-17			
ТП-17	АСБГ 3×35(ож)-10	Эстакада	15
АД-320	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	10
АД-320	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	10

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
СД-1250	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	15
СД-1250	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	15
СД-1250	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	15
СД-1250	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	15
РП-5			
ТП-11	АСБГ 3×70(ож)-10	Эстакада	24
ТП-8	АПвБВнг(А)-LS 3×50мк/25-10	Эстакада	20
ТП-5	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	19
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	25
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	25
ПГВ-2			
РП-14	АПвБВнг(А)-LS 3×185мк/70-10	Галерея	222
РП-17	АПвБВнг(А)-LS 3×35мк/16-10×2	Галерея	200
РП-5	АПвБВнг(А)-LS 3×35мк/16-10×2	Галерея	145
АД-1600	АСБГ 3×25(ож)-10	Галерея	67
ТП-33	АСБГ 3×25(ож)-10	Галерея	60
РП-13			
ТП-13	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	10
ТП-13	АСБГ 3×25(ож)-10	Эстакада	10
СД-1000	АСБГ 3×16(ож)-10	Под полом	12
СД-1000	АСБГ 3×16(ож)-10	Под полом	12
СД-1000	АСБГ 3×16(ож)-10	Под полом	24
СД-1000	АСБГ 3×16(ож)-10	Под полом	24
АД-210	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	32
АД-250	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	32
АД-250	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	26
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	26
АД-630	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	26
РП-3			
ТП-3	АСБГ 3×16(ож)-10	В земле	16
ТП-6	АСБГ 3×35(ож)-10	В земле	16
АД-1600	АСБГ 3×35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3×35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3×35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3×35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3×35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3×35(ож)-10	Галерея	21
АД-320	АСБГ 3×16(ож)-10	Эстакада	45

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
РП-4			
ТП-7	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	18
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
ПГВ-3			
РП-13	АПвБВнг(А)-LS 3x150мк/25-10x2	Эстакада	167
РП-3	ПвБВнг(А)-LS 3x185мк/25- 10	Эстакада	190
РП-4	ПвБВнг(А)-LS 3x150мк/95-6	Эстакада	207

Выводы по разделу 7. Повышение энергоэффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия потребовало перевода ее с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ. При этом будет достигнуто снижение тока в кабельных линиях. Поэтому необходимо выбрать новые кабели системы электроснабжения. В таблице 8 представлена сводная ведомость кабелей для питания трансформаторных подстанций, распределительных пунктов и высоковольтной нагрузки – высоковольтных электрических двигателей. Также для каждой кабельной линии определен способ прокладки. Так как предприятие является химическим, то выбрано преимущественно прокладка в галереях либо на эстакадах, частично с одновременным размещением технологических трубопроводов [8], что снизит стоимость прокладки КЛ, а также повысит надежность функционирования КЛ [23], [25].

8 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ необходим для выбора и проверки электрооборудования системы электроснабжения аммиачного производства. Расчет токов КЗ ведется в именованных единицах согласно [18], [19] и [7]. Перед расчетом составляется расчетная схема и схема замещения. На расчетной схеме необходимо выбрать расчетные точки КЗ, которые будут оптимальным образом отражать уровни токов КЗ от энергосистемы и позволят поверить выбранное оборудование на стойкость к ТКЗ [2], [19].

Вначале составляется расчетная схема и схема замещения для расчета токов короткого замыкания (ТКЗ) на шинах РП-17 (рисунки 1 и 2).

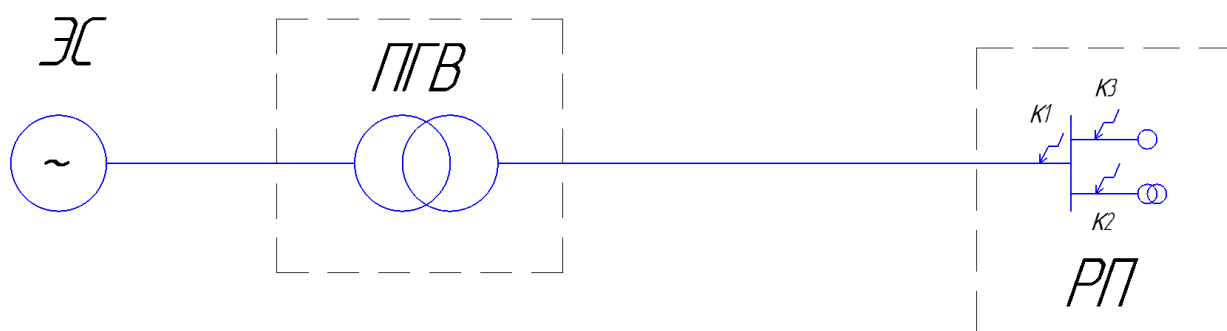


Рисунок 1 - Расчетная схема ТКЗ

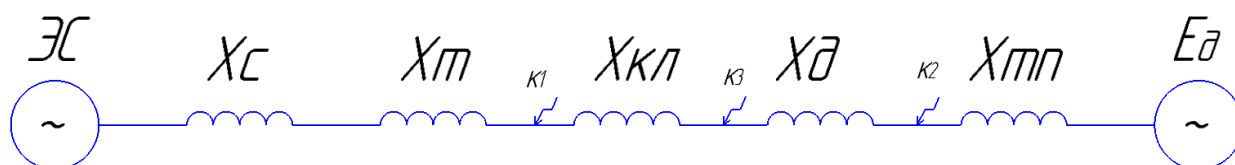


Рисунок 2 - Схема замещения для расчета ТКЗ

Первый шаг расчета ТКЗ - это определение индуктивного сопротивления энергосистемы:

$$x_c = \frac{U_{\text{НОМВН}}^2}{S_{\text{к}}^{(3)}} \quad (24)$$

где $U_{\text{НОМВН}}$ – номинальное напряжение линии от которой идет питание, кВ;

$S_{\text{к}}^{(3)}$ – мощность трехфазного короткого замыкания, МВА.

По (24) для схемы (рисунок 1) получим:

$$x_c = \frac{(10,5 \cdot 10^3)^2}{2500 \cdot 10^6} = 0,041 \text{ (Ом)} \quad (25)$$

Далее определяется индуктивное сопротивление трансформатора на ПГВ:

$$x_T = \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМВН}}^2}{S_T} \quad (26)$$

По (26) для схемы (рисунок 1) получим:

$$x_T = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{10,5 \cdot 10^3}{63000 \cdot 10^3} = 0,183 \text{ (Ом)} \quad (27)$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии (КЛ) определяют по выражению:

$$x_{\text{КЛ}} = x_{\text{уд}} \cdot l \quad (28)$$

где $x_{\text{уд}}$ – погонное индуктивное сопротивление, Ом/км.

l – длина линии, км.

Определяем индуктивное сопротивление КЛ по (28) для схемы представленной на рисунке 1:

$$x_{\text{КЛ}} = 0,075 \cdot 0,225 = 0,01 \text{ (Ом)} \quad (29)$$

Теперь нужно определить сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного двигателя по следующему выражению:

$$x''_{\text{АД}} = \frac{1}{K_{\text{п}}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{P_{\text{НОМ}}} \quad (30)$$

где $K_{\text{п}}$ – кратность пускового момента;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение двигателя, кВ

η – коэффициент полезного действия, %;

$P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность асинхронного двигателя, МВт.

Сверхпереходное сопротивление асинхронного двигателя по (30) согласно расчетной схемы (рисунок 1) получим равным:

$$x''_{\text{АД}} = \frac{1}{5,8} \cdot \frac{10,5^2 \cdot 0,89 \cdot 0,93}{0,32} = 49,1 \text{ (Ом)} \quad (31)$$

Далее нужно определить суммарное индуктивное сопротивление до расчетной точки КЗ согласно схемы замещения (рисунок 2) используя определенные ранее значения по (24) - (30):

$$x_{\Sigma} = x_{\text{с}} + x_{\text{т}} + x_{\text{КЛ}} \quad (32)$$

Определяется суммарное индуктивное сопротивление в точке КЗ по выражению (32) используя значения полученные в выражениях (25), (27), (29) и (31):

$$x_{\Sigma} = 0,041 + 0,183 + 0,01 = 0,234 \text{ (Ом)}$$

Ток КЗ от энергосистемы определим по выражению:

$$I_c = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} \quad (33)$$

Определяется ток КЗ от энергосистемы по выражению (33) согласно расчетной схемы (рисунок 1):

$$I_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,234} = 25,9 \text{ (кА)}$$

Далее нужно определить токи подпитки от синхронных и асинхронных двигателей по выражению:

$$I_{\text{ПАД(СД)}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{x'' + x_{\text{кЛ}}} \quad (34)$$

Определяем токи подпитки от синхронных ($I_{\text{пСД}}$) и асинхронных ($I_{\text{пАД}}$) двигателей по выражению (34):

$$I_{\text{пАД}} = \frac{10500}{49,1 + 0,05} = 0,213 \text{ (кА)},$$
$$I_{\text{пСД}} = \frac{10500}{33 + 0,05} = 0,317 \text{ (кА)}$$

Теперь нужно определить суммарный ток трехфазного КЗ по выражению:

$$I_{\text{пО}\Sigma}^{(3)} = I_c + I_{\text{пАД}} + I_{\text{пСД}} \quad (35)$$

Определяется суммарный ток КЗ по выражению (35):

$$I_{\text{ПО}\Sigma}^{(3)} = 25,9 + 0,213 + 0,317 = 26,4 \text{ (кА)}$$

Теперь нужно определить ток однофазного КЗ на землю для сети 10 кВ по выражению:

$$I_3^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \frac{l}{N_{\text{кЛ}}} \quad (36)$$

где $N_{\text{кЛ}}$ – погонная емкость между жилами кабеля и экраном, Ф/км.

Определяется ток однофазного КЗ на землю по выражению (36):

$$I_3^{(1)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot \frac{0,2}{10} = 36 \text{ (А)}$$

Расчет токов КЗ на шинах и присоединениях остальных РП ведется аналогично. Расчетные значения токов короткого замыкания для всех объектов системы электроснабжения сведены в таблицу. Данные сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Значения расчетных токов КЗ

РП, ТП	$I_{\text{ПО}\Sigma}^{(3)}$, кА	$I_3^{(1)}$, А
1	2	3
РП-65	21,6	29
РП-67	22,7	36
РП-17	26,4	36
РП-14	24,8	40
РП-5	24,7	38
ТП-67	0,49	26
РП-61	23,3	24
РП-13	27,8	24
РП-4	27,3	31
РП-3	27,3	31
ТП-68	0,77	24
ТП-62	0,78	24

Продолжение таблицы 9

1	2	3
ТП-63	0,78	25
ТП-64	0,78	26
ТП-61	0,78	26
ТП-81	0,12	27
ТП-82	0,49	26
ТП-52	0,78	26
ТП-53	0,78	26
ТП-57	0,78	26
ТП-71	0,79	26
ТП-72	0,79	26
ТП-14	0,78	26
ТП-47	0,78	26
ТП-17	0,79	26
ТП-11	1,23	31
ТП-8	0,97	31
ТП-5	0,5	27
ТП-7	0,5	27
ТП-33	0,78	26
ТП-13	0,8	26
ТП-3	0,8	26
ТП-6	0,8	26
ТП-7	0,79	26
ТП-24	0,78	27
ТП-9	0,77	27
ТП-10	0,77	27

Выводы по разделу 8. Для реконструируемой системы электроснабжения выполнен расчет токов трехфазного и однофазного коротких замыканий на стороне 10 кВ. Все расчеты сведены в расчетную ведомость токов КЗ (таблица 9). Значения трехфазных и однофазных токов КЗ необходимы для оптимального выбора коммутационного оборудования и электрических аппаратов системы электроснабжения химического предприятия.

9 Выбор электрических аппаратов

Выбор электрических аппаратов производится в соответствии с требованиями [18].

Выключатели выбираются по следующим критериям [22]:

- По классу напряжения;
- По номинальному току;
- По электродинамической стойкости;
- По отключающей способности на возможность отключения полного симметричного тока.

Проведем выбор выключателей, устанавливаемых в РП-67. Для выбора выключателей необходимо рассчитать тепловой импульс от тока КЗ и полный симметричный ток [21]. Данные параметры рассчитываются при номинальных условиях и при расчетных по следующим выражениям:

$$i_p = \sqrt{2} \cdot I_{птп} + i_a \quad (37)$$

$$B_{кр} = I_{птп}^2 \cdot \tau \quad (38)$$

где $I_{птп}$ – расчетное значение периодической составляющей, кА;

i_a – аperiodическая составляющая тока КЗ, кА.

τ - время срабатывания защиты, с.

Определяется полный расчетный ток КЗ по выражению (37):

$$i_p = \sqrt{2} \cdot 22,7 + 213 = 32,0 \text{ (кА)}$$

Определяется расчетный тепловой импульс от тока КЗ по выражению (38):

$$B_{кр} = 22,7^2 \cdot 0,07 = 25 \cdot 10^6 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

К установке приняты вакуумные выключатели производства ЗАО «Электроцит-Самара» марки ВВУ-СЭЩ 10. Выбранные выключатели приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Выбранные выключатели на отходящих присоединениях

Присоединение	U _{ном} , кВ	I _{ном} , А	I _{откл} , кА	I _{птном} , кА	I _{птрасч} , кА	В _{кном} , кА ² ·с	В _{красч} , кА ² ·с	i _{аном} , кА	i _{арасч} , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РП-67									
ТП-67	10,5	1000	20	20	0,49	28·10 ⁶	16807	42300	0,73
ДН-1	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
ДН-2	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
ДН-3	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
РП-61									
ТП-61	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-61	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-62	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-63	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1139
ТП-64	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-68	10,5	1000	20	20	0,77	28·10 ⁶	41503	42300	1,1
АД-1250	10,5	1000	40	40	0,55	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
АД-400	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42300	0,28
РП-65									
ТП-81	10,5	1000	20	20	0,12	28·10 ⁶	1008	42300	0,1
ТП-82	10,5	1000	20	20	0,49	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
АД-630	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³	42300	0,42
ПГВ-1									
РП-61	10,5	1000	30	30	23,3	45·10 ⁶	27·10 ⁶	32,8	59,2
РП-65	10,5	1000	30	30	21,6	45·10 ⁶	23·10 ⁶	30,4	59,2
РП-67	10,5	1000	30	30	22,7	45·10 ⁶	25·10 ⁶	59,2	32,0
ТП-52	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-53	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-57	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-71	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-72	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
РП-14									
ТП-14	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-47	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
АД-320	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-340	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-295	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-630	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³	42,3	0,42
РП-17									

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП-17	10,5	1000	20	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
АД-320	10,5	1000	20	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	42,3	0,28
АД-295	10,5	1000	20	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	42,3	0,28
СД-1250	10,5	1000	40	40	0,55	$28 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^3$	42,3	0,7
РП-5									
ТП-11	10,5	1000	20	20	1,23	$28 \cdot 10^6$	$75 \cdot 10^3$	42,3	1,73
ТП-8	10,5	1000	20	20	0,97	$28 \cdot 10^6$	$47 \cdot 10^3$	42,3	1,36
ТП-5	10,5	1000	20	20	0,5	$28 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$	42,3	0,73
ТП-7	10,5	1000	20	20	0,5	$28 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$	42,3	0,73
АД-630	10,5	1000	20	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$	42,3	0,42
ПГВ-2									
РП-14	10,5	1000	30	30	24,8	$45 \cdot 10^6$	$31 \cdot 10^6$	34,8	59,2
РП-17	10,5	1000	30	30	26,4	$45 \cdot 10^6$	$34 \cdot 10^6$	37,2	59,2
РП-5	10,5	2000	30	30	24,7	$45 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$	34,8	59,2
АД-1600	10,5	1000	20	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$	42,3	0,84
ТП-33	10,5	1000	20	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
РП-13									
ТП-13	10,5	1000	20	20	0,8	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
СД-1000	10,5	1000	20	20	0,55	$28 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^3$	42,3	0,7
АД-210	10,5	1000	20	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	42,3	0,28
АД-250	10,5	1000	20	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	42,3	0,28
АД-630	10,5	1000	20	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$	42,3	0,42
РП-3									
ТП-3	10,5	1000	20	20	0,8	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
ТП-6	10,5	1000	20	20	0,8	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
АД-1600	10,5	1000	20	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$	42,3	0,84
АД-320	10,5	1000	20	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	42,3	0,28
РП-4									
ТП-7	10,5	1000	20	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
АД-1600	10,5	1000	20	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$	42,3	0,84
ПГВ-3									
РП-13	10,5	1000	30	30	27,8	$45 \cdot 10^6$	$39 \cdot 10^6$	39,1	59,2
РП-3	10,5	1000	30	30	27,3	$45 \cdot 10^6$	$37 \cdot 10^6$	38,4	59,2
РП-4	10,5	1000	30	30	27,3	$45 \cdot 10^6$	$37 \cdot 10^6$	38,4	59,2
ТП-24	10,5	1000	20	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
ТП-9	10,5	1000	20	20	0,77	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
ТП-10	10,5	1000	20	20	0,77	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

- По номинальному напряжению;
- Номинальному току;
- Электродинамической стойкости;
- Термической стойкости;

Определяется расчетный тепловой импульс от действия тока КЗ для трансформатора тока [21] установленного в РП-61 на присоединении ТП-62 по выражению (38):

$$B_{кр} = 780^2 \cdot 0,07 = 42188 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Выбранные трансформаторы тока приведены в таблице 11. Все трансформаторы выбраны марки ТОЛ-СЭЦ 10 кВ.

Таблица 11 - Трансформаторы тока на ячейках присоединений

Присоединение	U _{ном} , кВ	I _{ном1} , А	I _{ном2} , А	I _{эс} , кА	B _{кном} , кА ² ·с	I _{эсрасч} , кА	B _{красч} , кА ² ·с
1	3	4	5	6	7	8	9
РП-67							
ТП-67	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,49	16·10 ³
ДН-1	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,5	16·10 ³
ДН-2	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,5	16·10 ³
ДН-3	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,5	16·10 ³
РП-61							
ТП-61	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-61	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-62	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-63	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-64	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
РП-65							
ТП-81	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,12	16·10 ³
ТП-82	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,49	41·10 ³
АД-630	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,3	20·10 ³
ПГВ-1							
РП-61	10,5	1000	5	30	28·10 ⁶	23,3	27·10 ⁶
РП-65	10,5	1000	5	30	28·10 ⁶	21,6	23·10 ⁶
РП-67	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	22,7	25·10 ⁶
ТП-52	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-53	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-57	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-71	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-72	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³
РП-14							
ТП-14	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-47	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³
АД-320	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 ⁶	20·10 ³
АД-340	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 ⁶	20·10 ³
АД-295	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 ⁶	20·10 ³

Продолжение таблицы 11

1	3	4	5	6	7	8	9
АД-630	10,5	1000	5	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$
РП-17							
ТП-17	10,5	1000	5	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
АД-320	10,5	1000	5	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
АД-295	10,5	1000	5	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
СД-1250	10,5	1000	5	40	0,55	$28 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^3$
РП-5							
ТП-11	10,5	1000	5	20	1,23	$28 \cdot 10^6$	$75 \cdot 10^3$
ТП-8	10,5	1000	5	20	0,97	$28 \cdot 10^6$	$47 \cdot 10^3$
ТП-5	10,5	1000	5	20	0,5	$28 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$
ТП-7	10,5	1000	5	20	0,5	$28 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$
АД-630	10,5	1000	5	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$
ПГВ-2							
РП-14	10,5	1000	5	30	24,8	$45 \cdot 10^6$	$31 \cdot 10^6$
РП-17	10,5	1000	5	30	26,4	$45 \cdot 10^6$	$34 \cdot 10^6$
РП-5	10,5	1000	5	30	24,7	$45 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$
АД-1600	10,5	1000	5	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$
ТП-33	10,5	1000	5	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	42588
РП-13							
ТП-13	10,5	1000	5	20	0,8	$28 \cdot 10^6$	42588
СД-1000	10,5	1000	5	20	0,55	$28 \cdot 10^6$	16807
АД-210	10,5	1000	5	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$
АД-250	10,5	1000	5	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$
АД-630	10,5	1000	5	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$
РП-3							
ТП-3	10,5	1000	5	20	0,8	$28 \cdot 10^6$	42588
ТП-6	10,5	1000	5	20	0,8	$28 \cdot 10^6$	42588
АД-1600	10,5	1000	5	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$
АД-320	10,5	1000	5	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$
РП-4							
ТП-7	10,5	1000	5	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
АД-1600	10,5	1000	5	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$
ПГВ-3							
РП-13	10,5	1000	5	30	27,8	$45 \cdot 10^6$	$39 \cdot 10^6$
РП-3	10,5	1000	5	30	27,3	$45 \cdot 10^6$	$37 \cdot 10^6$
РП-4	10,5	1000	5	30	27,3	$45 \cdot 10^6$	$37 \cdot 10^6$
ТП-24	10,5	1000	5	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТП-9	10,5	1000	5	20	0,77	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТП-10	10,5	1000	5	20	0,77	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$

Для выбора трансформаторов напряжения (ТН) необходимо определить номинальную и расчетные мощности подключённых к ТН приборов по выражению [22]:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (39)$$

где $P_{\text{приб}}$ – активная мощность потребляемая приборами, Вт;

$Q_{\text{приб}}$ – реактивная мощность, потребляемая приборами, вар.

Определяется суммарная мощность приборов подключаемых ко вторичной обмотке ТН [21]:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{6,52^2 + 3,7^2} = 7,49 \text{ (ВА)}$$

В таблице 12 приведены характеристики трансформаторов напряжения, устанавливаемых на РП.

Таблица 12 - Трансформаторы напряжения на РП

Точка подключения	Тип	U _{ном} , кВ	S _{2Σном} , ВА	S _{2Σ расч} , ВА
РП67	НАЛИ СЭЦ 10	10,5	800	7,49
РП61		10,5	800	7,5
РП65		10,5	800	8,0
РП14		10,5	800	7,45
РП17		10,5	800	8,1
РП5		10,5	800	7,5
РП13		10,5	800	7,5
РП3		10,5	800	7,51
РП4		10,5	800	7,45

Выводы по разделу 9. Выполнен расчет параметров необходимых для оптимального выбора электрических и коммутационных аппаратов для системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия при проведении реконструкции и повышение энергетической эффективности. Выбраны выключатели 10 кВ марки ВВУ-СЭЦ-10, измерительные трансформаторы тока ТОЛ-СЭЦ-10 и измерительные трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЦ-10, выбранные измерительные трансформаторы используются также для системы релейной защиты системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия [24].

10 Технико-экономическая эффективность проекта повышения энергетической эффективности

Для обоснования экономической эффективности замены трансформаторов аммиачного производства и перевода системы электроснабжения на напряжение 10 кВ выполним расчет стоимости потерь активной мощности в системе электроснабжения аммиачного производства за год до реконструкции и после реконструкции, а так же сроки окупаемости основного электрооборудования при реконструкции. Расчет ведется по методике представленной в [16].

Нужно определить стоимость потерь активной мощности в самой загруженной кабельной линии от ПГВ-3 до РП-3 до реконструкции по выражению:

$$C_{\text{КЛ}} = \Delta P_{\text{КЛ}} \cdot C \quad (40)$$

где C – плата за мощность принимается для обоих вариантов равной 6,3 руб/кВт.

Определяется стоимость потерь активной мощности в самой загруженной кабельной линии от ПГВ-3 до РП-3 до реконструкции по выражению (40):

$$C_{\text{КЛ}(6)} = 2,38 \cdot 6,3 = 14,9 \text{ (руб.)}$$

Определяется стоимость потерь активной мощности в самой загруженной кабельной линии от ПГВ-3 до РП-3 после реконструкции по выражению (40):

$$C_{\text{КЛ}(10)} = 0,86 \cdot 6,3 = 5,41 \text{ (руб.)}$$

Теперь нужно определить стоимость потерь активной электроэнергии в год в этой КЛ до реконструкции по выражению:

$$C_{\text{ЭКЛ}} = \Delta P_{\text{КЛ}} \cdot \tau \cdot C_{\text{э}} \quad (41)$$

где τ – число часов максимальных потерь, час.

$C_{\text{э}}$ – стоимость электрической энергии, примем равной 1,2 руб. кВт·ч

$\Delta P_{\text{КЛ}}$ – значение потерь активной мощности в питающей линии на соответствующем классе напряжения, кВт.

Перед расчетом стоимости потерь активной энергии нужно определить число часов максимальных потерь:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 \cdot T_{\text{р}} \quad (42)$$

где $T_{\text{м}}$ – число часов пиковой загрузки, час;

$T_{\text{р}}$ – число часов работы КЛ в год, час.

Определяется число часов максимальных потерь по выражению (38):

$$\tau = \left(0,124 + \frac{6000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4592 \text{ (ч)} \quad (43)$$

Теперь нужно определить стоимость потерь активной электроэнергии в год по выражению (41) для существующей распределительной сети напряжением 6кВ:

$$C_{\text{ЭКЛ}(6)} = 2,38 \cdot 4592 \cdot 1,2 = 13114 \text{ (руб.)}$$

Теперь определяется стоимость потерь активной электроэнергии в год в этой КЛ после реконструкции (для напряжения распределительной сети 10 кВ) по выражению (41):

$$C_{\text{ЭКЛ}(10)} = 0,86 \cdot 4592 \cdot 1,2 = 4738 \text{ (руб.)}$$

Определяется разница в стоимости потерь активной электроэнергии за год по выражению:

$$\Delta C_{\text{ЭКЛ}} = C_{\text{ЭКЛ}(6)} - C_{\text{ЭКЛ}(10)} \quad (44)$$

Определяется разница в стоимости потерь активной электроэнергии за год по выражению (44):

$$\Delta C_{\text{ЭКЛ}} = 13114 - 4738 = 8376 \text{ (руб.)}$$

Теперь нужно определить стоимость потерь активной мощности в трансформаторах ТП по выражению:

$$C_{\text{ТП}} = n \cdot \Delta P_{\text{T}} \cdot C \quad (45)$$

Теперь нужно определить стоимость потерь активной электроэнергии в год на каждой ТП до и после реконструкции по выражению:

$$C_{\text{ЭТП}} = n \cdot \Delta P_{\text{T}} \cdot \tau \cdot C_{\text{э}} \quad (46)$$

Определяется стоимость потерь активной мощности в трансформаторах ТП-68 до реконструкции по выражению (45):

$$C_{\text{ТП}(6)} = 2 \cdot 14,2 \cdot 1,2 = 34,08 \text{ (руб.)}$$

Определяется стоимость потерь активной электроэнергии в трансформаторах до реконструкции (для напряжения распределительной сети 6 кВ) по выражению (46):

$$C_{\text{ЭТП}(6)} = 2 \cdot 14,2 \cdot 4592 \cdot 1,2 = 156495 \text{ (руб.)}$$

Определяется стоимость потерь активной мощности в трансформаторах ТП-68 после реконструкции (для напряжения распределительной сети 10 кВ) по выражению (45):

$$C_{\text{ТП}(10)} = 2 \cdot 8,56 \cdot 1,2 = 20,54 \text{ (руб.)}$$

Определяется стоимость потерь активной электроэнергии в трансформаторах после реконструкции (для напряжения распределительной сети 10 кВ) по выражению (46):

$$C_{\text{ЭТП}(10)} = 2 \cdot 8,56 \cdot 4549 = 94338 \text{ (руб.)}$$

Нужно определить разницу в стоимости потерь активной электроэнергии за год по выражению:

$$\Delta C_{\text{ЭТП}} = C_{\text{ЭТП}(6)} - C_{\text{ЭТП}(10)} \quad (47)$$

Определяется разница в стоимости потерь активной электроэнергии за год для ТП-68 до и после реконструкции по выражению (47):

$$\Delta C_{\text{ЭТП}} = 156495 - 94338 = 62157 \text{ (руб.)}$$

Теперь нужно провести расчет приведенных затрат на замену кабельных линий по выражению:

$$Z_{\text{КЛ}} = E \cdot (K \cdot l) + C_{\text{амкл}} \quad (48)$$

где E – нормативный коэффициент эффективности отчислений от капиталовложений;

K – стоимость кабельной линии, руб.;

l – длина кабельной линии, м.

Проводится расчет приведенных затрат на замену кабельной линии от ПГВ-3 до РП-3 линий по выражению (48):

$$Z_{\text{КЛ}} = 0,33 \cdot (1300 \cdot 190) + 6,23 =$$

Теперь нужно провести расчет приведенных затрат на замену силовых трансформаторов по выражению:

$$Z_{\text{ТП}} = E \cdot K + C_{\text{амтп}} \quad (49)$$

Выполняется расчет приведенных затрат на замену силовых трансформаторов по выражению (49):

$$Z_{\text{ТП}} = 0,33 \cdot 450000 + 107,9 =$$

Расчет стоимости потерь активной мощности, активной электроэнергии и приведенные затраты по остальным КЛ и ТП ведется аналогично. Результаты сведены в таблицы 13 и 15.

Определим ориентировочный период окупаемости на сооружение кабельной сети и трансформаторных подстанций напряжением 10 кВ. В расчете не учитывается рост тарифов на электрическую энергию, а также дополнительные расходы на содержание кабельной сети и трансформаторных подстанций, так как данные факторы характерны для

обоих вариантов распределительной сети 6 кВ и 10 кВ. Для определения срока окупаемости используем выражение:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{З}{\Delta C} \quad (50)$$

где $З$ – величина приведенных затрат на сооружение кабельной сети или замену трансформаторов на ТП, руб.

ΔC – разница в стоимости потерь между сетями до и после реконструкции, руб. в год.

Таблица 13 - Техничко-экономический расчет для кабельных линий

Точка подключения КЛ	$C_{\text{кл}(6)}$, руб.	$C_{\text{экл}(6)}$, руб.	$C_{\text{кл}(10)}$, руб.	$C_{\text{экл}(10)}$, руб.	$З_{\text{кл}}$, руб.	$\Delta P_{\text{кл}}$, кВт	$\Delta C_{\text{экл}}$, руб.
1	2	3	4	5	6	7	9
ПП-67							
ТП-67	1,14928	1005,236	0,41374	361,885	4290	0,065673	643,3509
ДН-1	1,57234	1375,273	0,56604	495,098	6435	0,089848	880,1748
ДН-2	1,57234	1375,273	0,56604	495,098	6435	0,089848	880,1748
ДН-3	1,57234	1375,273	0,56604	495,098	6435	0,089848	880,1748
ПП-61							
ТП-68	0,663	579,9051	0,23868	208,766	5577	0,037886	371,1393
ТП-62	2,44892	2141,987	0,88161	771,115	5148	0,139938	1370,872
ТП-63	1,13813	995,4879	0,40973	358,376	10725	0,065036	637,1122
ТП-61	12,4467	10886,75	4,48083	3919,23	4290	0,711242	6967,52
ТП-64	1,83632	1606,168	0,66108	578,221	12441	0,104933	1027,947
АД-630	0,42861	374,8891	0,1543	134,96	12012	0,024492	239,929
ПП-65							
ТП-61	12,4467	10886,75	4,48083	3919,23	96096	0,711242	6967,52
ТП-81	1,76919	1547,452	0,63691	557,083	23595	0,101097	990,3694
ТП-82	4,65878	4074,882	1,67716	1466,96	17160	0,266216	2607,925
АД-630	1,15274	1008,261	0,41499	362,974	9438	0,065871	645,287
ПГВ-1							
РП-61	1,05986	927,0234	0,38155	333,728	96096	0,060563	593,295
РП-65	1,117	977,0011	0,40212	351,72	85800	0,063828	625,2807
РП-67	1,48512	1298,987	0,53464	467,636	107250	0,084864	831,3515
ТП-52	5,5625	4865,332	2,0025	1751,52	28743	0,317857	3113,813
ТП-53	7,14488	6249,389	2,57216	2249,78	25740	0,408279	3999,609
ТП-57	7,0863	6198,149	2,55107	2231,33	27885	0,404931	3966,815
ТП-71	4,06829	3558,395	1,46458	1281,02	8580	0,232474	2277,373
ТП-72	1,63006	1425,761	0,58682	513,274	15873	0,093146	912,4869
ПП-14							

ТП-14	1,83672	1606,52	0,66122	578,347	4290	0,104956	1028,173
ТП-47	3,45769	3024,326	1,24477	1088,76	14586	0,197582	1935,568
АД-320	1,88587	1649,508	0,67891	593,823	9438	0,107764	1055,685
АД-630	0,34771	304,128	0,12518	109,486	13728	0,019869	194,6419
АД-340	2,7353	2392,477	0,98471	861,292	17160	0,156303	1531,185
АД-1250	1,79098	1566,51	0,64475	563,944	6435	0,102342	1002,566
АД-400	10,6356	9302,637	3,82883	3348,95	6435	0,607751	5953,688
ПП-5							

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	9
ТП-11	1,61657	1413,963	0,62357	545,417	10296	0,09898	868,546
ТП-8	1,71894	1503,499	0,6176	540,195	8580	0,098032	963,3045
ТП-5	1,73214	1515,047	0,60418	528,459	8151	0,095902	986,5883
ТП-7	1,71556	1500,54	0,27157	237,529	25740	0,043106	1263,011
АД-630	1,67829	1467,941	0,79246	693,137	10725	0,125787	774,8036
ПГВ-2							
РП-14	1,77063	1548,708	0,61882	541,26	95238	0,098225	1007,448
РП-17	1,85053	1618,595	0,58197	509,027	85800	0,092376	1109,568
РП-5	2,17423	1901,725	0,63743	557,535	62205	0,101179	1344,19
АД-295	0,34771	304,128	0,12518	109,486	8580	0,019869	194,6419
СД-1250	2,20128	1925,382	0,59618	521,458	6435	0,094632	1403,925
АД-320	0,40075	350,5204	0,18658	163,199	4290	0,029617	187,3214
АД-295	0,34771	304,128	0,12518	109,486	5577	0,019869	194,6419
АД-1600	12,5774	11001,04	0,78272	684,621	28743	0,124242	10316,42
РП-13							
ТП-13	1,65605	1448,493	0,10157	88,8423	6435	0,016123	1359,651
СД-1000	0,51829	453,3306	0,39225	343,086	25740	0,062262	110,2446
АД-210	0,28215	246,7842	0,29057	254,15	9438	0,046122	-7,3662
АД-250	1,08958	953,0166	4,52787	3960,38	19305	0,718709	-3007,36
АД-630	0,80713	705,9733	0,70508	616,709	6435	0,111917	89,2639
РП-3							
ТП-3	2,45744	2149,443	0,88468	773,799	6435	0,140425	1375,644
ТП-6	1,68053	1469,905	0,60499	529,166	25740	0,09603	940,7391
АД-1600	1,70279	1489,377	0,61301	536,176	9438	0,097302	953,2014
АД-320	1,79369	1568,882	0,64573	564,798	19305	0,102497	1004,085
РП-4							
ТП-7	1,78127	1558,019	0,64126	560,887	5577	0,101787	997,132
АД-1600	1,66236	1454,013	0,59845	523,445	9009	0,094992	930,5684
ПГВ-3							
РП-13	9,61569	8410,525	3,46165	3027,79	71643	0,549468	5382,736
РП-3	15,0511	13164,71	5,4184	4739,3	81510	0,860064	8425,414
РП-4	12,4265	10869	4,47352	3912,84	88803	0,710083	6956,161
ТП-24	1,61973	1416,721	0,5831	510,02	5577	0,092556	906,7014
ТП-9	1,73421	1516,857	0,62432	546,069	8151	0,099098	970,7884
ТП-10	1,4953	1307,893	0,53831	470,841	4290	0,085446	837,0516
Итого	184,205	161117,9	66,4799	58147,8	1451307	10,55237	102970,1

Таблица 14 - Технико-экономический расчет для трансформаторных подстанций

ТП	С _{ТП(6)} , руб.	С _{ТП(10)} , руб.	С _{ЭТП(6)} , руб.	С _{ЭТП(10)} , руб.	З _{ТП} , руб.	ΔС _{ЭТП} , руб. в год
1	2	3	4	5	6	7
67	87,696	76,95702	76704,768	67311,7402	138688	9393,0278
68	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7
62	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
63	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
64	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
61	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
81	41,076	29,9628	35927,808	26207,4624	61091	9720,3456
82	87,696	76,95702	76704,768	67311,7402	138688	9393,0278
52	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
53	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
57	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
71	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
72	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
14	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
47	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
17	107,856	104,7816	94338,048	91648,9728	148607	2689,0752
11	214,83	150,4062	187904,64	131555,29	238145	56349,35
8	185,22	122,1192	162005,76	106813,594	218645	55192,166
Итого	2018,65	1818,563	1765642,37	1590636,47	2727148	175005,9

По (50) для кабельной сети используя значения полученные в таблице 13 получим:

$$T_{\text{окупКЛ}} = \frac{Z_{\text{КЛ}}}{\Delta C_{\text{КЛ}}} = \frac{1451307}{102970,0931} = 14 \text{ (лет)}$$

По (50) для трансформаторных подстанций используя значения полученные в таблице 14 получим:

$$T_{\text{окупТП}} = \frac{Z_{\text{ТП}}}{\Delta C_{\text{ТП}}} = \frac{2727148}{175005,9} = 15,6 \text{ (лет)}$$

Выводы по разделу 10. Представлена методика оценки технико-экономической эффективности проекта реконструкции системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Представленная методика позволяет оценить разницу в стоимости потерь электрической энергии и активной мощности для варианта до реконструкции и варианта после реконструкции. Установлено, для кабельных сетей напряжением 10 кВ стоимость потерь активной мощности и электрической энергии будет ниже чем для существующей сети 6 кВ. За счет этой экономии можно получить существенную экономию денежных средств с параллельным получением более эффективной и надежной кабельной сети для системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Кроме того, методика включает в себя определение примерного срока окупаемости предлагаемых мероприятий. По представленной методике определения технико-экономической эффективности проекта представлен подробный расчет для кабельной линии от ПГВ-3 до РП-3, так как данная кабельная линия является одной из наиболее нагруженных в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Для определения технико-экономических параметров при замене трансформаторов на ТП выполнен подробный расчёт для ТП-68. Все остальные расчеты по представленной методике сведены в таблицы 13 и 15. По результатам расчета в таблицах 13 и 15 оперены сроки окупаемости. Для кабельных линий срок окупаемости составил 14 лет, а для трансформаторных подстанций 15,6 лет. Расчет срока окупаемости не учитывал рост тарифов на электрическую энергию, а также дополнительные расходы на содержание кабельной сети и трансформаторных подстанций, так как данные факторы характерны для обоих вариантов распределительной сети 6 кВ и 10 кВ.

11 Оценка энергетической эффективности системы электроснабжения после реконструкции

Система электроснабжения любого промышленного предприятия определяет эффективность и надёжность функционирования основного и вспомогательных технологических процессов. Однако единой методики по определению классов энергоэффективности системы электроснабжения промышленных предприятий не существует, при этом используются методики по определению различных технико-экономических показателей систем электроснабжения и на основании полученных значений этих показателей делается вывод об эффективности системы электроснабжения. Для выполнения оценки эффективности предложенных в рамках выполнения ВКР технических мероприятий предлагается использовать упрощенную методику по определению класса энергоэффективности. Хотя стоит отметить, что данная методика не может быть применена на практике в полном объеме и должна дополняться в зависимости от уровня исходных данных.

Оценка энергоэффективности складывается из необходимости иметь данные о производимой продукции и иметь точное описание и стадии технологического процесса [26]. Однако ограниченность данных не всегда позволяет провести данную оценку особенно для крупных промышленных предприятий. Поэтому предлагается разработать методику по оценке класса энергоэффективности системы электроснабжения промышленного предприятия на стадии разработки проекта модернизации или реконструкции систем электроснабжения промышленных предприятий.

Классом энергоэффективности называется показатель характеризующий уровень КПД оборудования и потерь в сети [27]. Относительно системы электроснабжения промышленного предприятия предполагается, что класс энергоэффективности всей системы будет складываться из классов энергоэффективности отдельных элементов, однако

такой подход требует более детальной проработки технических мероприятий по повышению энергетической эффективности и трудно применим в условиях учебного проектирования, поэтому предлагается использовать упрощенную методику оценки.

Предлагаемая методика оценки энергоэффективности системы электроснабжения с определением класса энергоэффективности системы электроснабжения включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Определение КПД распределительной сети по результатам разработанных технических решений при проведении реконструкции с повышением энергетической эффективности.

Этап 2. Определение значения потерь мощности для каждого элемента системы электроснабжения предприятия.

Этап 3. Определение средневзвешенного значения КПД системы электроснабжения предприятия.

Этап 4. Определение средневзвешенного значения потерь мощности в распределительной сети промышленного предприятия при проведении реконструкции с повышением энергетической эффективности.

Этап 5. Окончательная оценка энергоэффективности системы электроснабжения промышленного предприятия после реконструкции.

Первые два этапа выполняются в соответствующих разделах ВКР при выборе оборудования системы электроснабжения промышленного предприятия. Остальные этапы выполняются при оценке эффективности предлагаемых технических решений в данном разделе ВКР.

Средневзвешенный КПД распределительной сети предприятия химической промышленности определяется по выражению:

$$\bar{\eta}_{PC} = \frac{W_{пп}}{W_{пп} + \Delta W_{PC}} \quad (51)$$

где $W_{пп}$ – значение электрической энергии потребленной предприятием за год, кВт·ч;

ΔW_{pc} – значение потерь электрической энергии в распределительной сети промышленного предприятия согласно годового графика нагрузки, кВт·ч.

Значение электрической энергии потребленной предприятием химической промышленности за год определяется по выражению:

$$W_{пп} = \sum_{i=1}^n P_{ТПi} T_{ni} \quad (52)$$

где n – число трансформаторных подстанций на предприятии;

$P_{ТПi}$ – значение максимальной мощности i -й трансформаторной подстанции промышленного предприятия, кВт;

T_{ni} – продолжительность использования максимальной мощности i -й трансформаторной подстанции промышленного предприятия, ч.

Потери электрической энергии в распределительной сети предприятия химической промышленности определяются по выражению:

$$\Delta W_{pc} = \Delta W_{const} + \Delta W_{var} \quad (53)$$

где ΔW_{const} – значение постоянных потерь электрической энергии в распределительной сети предприятия химической промышленности, кВт·ч;

ΔW_{var} – переменные потери электрической энергии в распределительной сети предприятия химической промышленности, кВт·ч.

К постоянным потерям относятся потери холостого хода в трансформаторах системы электроснабжения предприятия химической промышленности, а переменные или можно назвать нагрузочные потери

складываются из потерь в линиях электропередачи и нагрузочных потерь в трансформаторах распределительной сети.

Значение постоянных потерь электрической энергии определяется по выражению:

$$\Delta W_{const} = \sum_{i=1}^k n_i T_i \Delta P_{xxi} \quad (54)$$

где k – количество трансформаторных подстанций в системе электроснабжения химического предприятия;

n_i – число одновременно работающих трансформаторов i -й подстанции в режиме максимальных нагрузок, для химического предприятия примем равным 2 для двухтрансформаторных ТП и 1 для однострансформаторных ТП;

T_i – продолжительность работы трансформаторов i -й подстанции в год, примем равным 8760 ч;

ΔP_{xxi} – потери активной мощности в трансформаторе i -й подстанции в режиме холостого хода, кВт.

В разделе выбора распределительных трансформаторов (раздел 6 стр.32) в таблице 7 определены паспортные значения потерь холостого хода для каждого из трансформаторов установленных на ТП. Используя данные таблицы 7 составим таблицу 15, в которой выполним расчет потерь ΔW_{const} на каждой ТП предприятия, а также суммарные значения потерь ΔW_{const} для всех ТП предприятия химической промышленности.

Переменные (нагрузочные) потери складываются из потерь в линиях электропередачи (ΔW_L) и нагрузочных потерь в трансформаторах (ΔW_T) и определяются по выражению:

$$\Delta W_{var} = \Delta W_L + \Delta W_T \quad (55)$$

Для определения потерь электрической энергии в линиях электропередачи относящихся к системе электроснабжения промышленного предприятия используется выражение:

$$\Delta W_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{КЛ}} \cdot \bar{\tau}_{\text{СВ}} \quad (56)$$

где $\Delta P_{\text{КЛ}}$ – значение суммарных потерь активной мощности в линиях электропередачи в режиме максимальных нагрузок, определено в разделе 10 ВКР (стр. 52), кВт;

$\bar{\tau}_{\text{СВ}}$ – средневзвешенное значение времени максимальных потерь в распределительной сети.

По (56), а также используя ранее определенное в таблице 13 значение $\Delta P_{\text{КЛ}} = 10,55237$ кВт в год получим:

$$\Delta W_{\text{Л}} = \Delta P_{\Sigma \text{Л} \text{max}} \cdot \bar{\tau}_{\text{СВ}} = 10,55237 \cdot 4592 = 48456,483 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (57)$$

Нагрузочные потери в трансформаторе определяются по выражению:

$$\Delta W_{\text{Т}} = \sum_{i=1}^k \Delta P_{\text{Т}i} \cdot \bar{\tau}_{\text{СВ}} \quad (58)$$

где $\Delta P_{\text{Т}i}$ – значение нагрузочных потерь активной мощности в трансформаторах i -й подстанции в режиме максимальных нагрузок, значения определены в разделе 6 ВКР (раздел 6 стр.32) таблица 7, кВт;

$\bar{\tau}_{\text{СВ}}$ – средневзвешенное значение времени максимальных потерь в распределительной сети.

Средневзвешенное значение времени максимальных потерь эклектической энергии в распределительной сети предприятия химической промышленности:

$$\bar{t}_{\text{св}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{М}}}{10000}\right)^2 \cdot T_{\text{год}} \quad (59)$$

где $T_{\text{М}}$ – число часов пиковой загрузки в году, определена ранее в разделе 10 ВКР (стр. 52) и равна 4592 ч;

$T_{\text{год}}$ – число часов в году, принимается равным 8760 ч.

По (59) получим:

$$\bar{t}_{\text{св}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{М}}}{10000}\right)^2 \cdot T_{\text{год}} = \left(0,124 + \frac{6000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 4592 \text{ (ч)}$$

Таблица 15 – Расчетная ведомость потерь в кабельных линиях и трансформаторных подстанции для оценки энергетической эффективности

Наименование	Число трансформаторов	Потери мощности			Тип трансформаторов	Потери энергии	
		$\Delta P_{\text{Т}}$, кВт	$\Delta P_{\text{ХХ}}$, Вт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$, Вт		ΔW_{const} , кВт·ч в год	ΔW_{var} , кВт·ч в год
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП-67	2	6,96	1150	6650	ТСЛ 630/10	20148	63920,64
ТП-68	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-62	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-63	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-64	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8
ТП-61	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-81	2	3,26	550	2150	ТСЛ 160/10	9636	29939,84
ТП-82	2	6,96	1150	6650	ТСЛ 630/10	20148	63920,64
ТП-52	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-53	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-57	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-71	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-72	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-14	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-47	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-17	2	8,56	1650	8650	ТСЛ 1000/10	28908	78615,04
ТП-11	2	17,05	2370	11900	ТСЛ 1600/10	41522,4	156587,2
ТП-8	2	14,7	1950	10200	ТСЛ 1250/10	34164	135004,8
ТП-5	2	8,96	1150	6650	ТСЛ-630/10	20148	82288,64
ТП-7	2	8,96	1150	6650	ТСЛ-630/10	20148	82288,64
ТП-33	2	5,56	1650	8650	ТСЛ-1000/10	28908	51063,04
Потери энергии по всем ТП для режима холостого хода, кВт·ч						570626,4	-
Потери энергии по всем ТП для нагрузочного режима, кВт·ч							1687008,96

Далее определим по (55) значение переменных потерь (ΔW_{var}) для системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия используя значения полученные в (57), а также значение ΔW_T определенное по выражению (58) в таблице 15, получим значение ΔW_{var} в кВт·ч:

$$\Delta W_{var} = \Delta W_L + \Delta W_T = 48456,483 + 1687008,9 = 1735465,443 \quad (60)$$

Так как в таблице 15 также были определены значения постоянных потерь электрической энергии, т.е. ΔW_{const} согласно выражению (54), то используя значение полученное в (60), а также значение ΔW_{const} по выражению (53) получим:

$$\Delta W_{pc} = 570626,4 + 1735465,443 = 2306091,84304 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (61)$$

Для того, чтобы определить средневзвешенный КПД распределительной сети не имея годового графика нагрузок предприятия можно воспользоваться следующим выражением:

$$W_{\text{пп}} = P_{\Sigma\text{расч}} \cdot \bar{\tau}_{\text{св}} = 28103,4 \cdot 4592 = 129050812,8 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (62)$$

где $P_{\Sigma\text{расч}}$ – расчетное значение мощности аммиачного производства при переводе системы электроснабжения на напряжение 10 кВ, значение получено в таблице 2 и равно 28103,4 кВт;

$\tau_{\text{св}}$ – число часов пиковой загрузки в году, определена ранее в разделе 10 ВКР (стр. 52) выражение (43) и равна 4592 ч в год.

Далее по (51) необходимо определить средневзвешенный КПД распределительной сети предприятия химической промышленности с использованием значения переменных потерь ΔW_{var} из выражения (60), а также значения $W_{\text{пп}}$ полученного

$$\bar{\eta}_{\text{РС}} = \frac{129050812,8}{129050812,8 + 2306091,84} = 0,982 \quad (63)$$

Таким образом по (63) получено значение КПД распределительной сети на уровне 98,2%, что несомненно является достаточно высоким показателем. Однако для окончательного определения энергетической эффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия определим количество классов энергетической эффективности и значения показателей, соответствующих каждому классу. При определении количества классов энергетической эффективности воспользуемся аналогичной классификацией для зданий и сооружений, которая представлена в [14]. Данная классификация предполагает сравнение удельного базового удельного расхода электрической энергии, что не может

быть применено для рассматриваемой в ВКР системы электроснабжения промышленного предприятия.

Согласно [14], [15] для зданий и сооружений определено 9 классов энергетической эффективности. Аналогичная классификация применяется и для бытового электрооборудования согласно [5]. Для промышленного оборудования применяются другие классы энергоэффективности, однако они не дают понимание о комплексном (общем) значении класса энергоэффективности для всей системы электроснабжения промышленного предприятия.

Для рассматриваемого в рамках выполнения ВКР промышленного предприятия предлагается для определения классов энергоэффективности использовать значение потерь электрической энергии в системе электроснабжения, а также коэффициенты мощности сети и высоковольтных вращающихся электрических машин.

Если принять во внимание, что территория, занимаемая промышленным предприятием, а значит и системой электроснабжения не изменялась, то класс энергоэффективности до и после реконструкции предлагается определять по уровню относительных потерь электрической энергии, который определяется по выражению:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W_{pc}}{W_{пп}} \cdot 100\% \quad (64)$$

Используя ранее определенные значения ΔW_{pc} в (61) и $W_{пп}$ в (62) по (64) получим:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W_{pc}}{W_{пп}} \cdot 100\% = \frac{2306091,84304}{129050812,8} \cdot 100\% = 1,7\% \quad (65)$$

Таким образом по (65) получено, что уровень потерь электрической энергии в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия и составляет 1,7% от общего потребления электрической энергии, что еще раз доказывает высокую энергетическую эффективность системы электроснабжения после реконструкции.

Класс энергоэффективности определяется по рисунку 3. Чем выше класс энергетической эффективности тем меньше уровень относительных потерь ($\Delta W_{\%}$) электрической энергии в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Для реконструируемой системы электроснабжения класс энергетической эффективности A++.

Класс энергетической эффективности	$\Delta W_{\%}$
A+++	<1
A++	1,1 – 2,0
A+	2,1 – 3,0
A	3,1 – 4,0
B	4,1 – 5,0
C	5,1 – 6,0
D	>6,1

Рисунок 3 – Расчетный класс энергетической эффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия

Выводы по разделу 11. Представлена методика оценки энергетической эффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Методика оценки энергетической эффективности включает в себя пять основных этапов. По результатам проведенных

расчетов установлено, что КПД распределительной сети аммиачного производства химического предприятия составляет $\bar{\eta}_{PC} = 0,982$ или 98,2 %. Определенный расчетным путем КПД распределительной сети несомненно является достаточно высоким. Однако для окончательного определения энергетической эффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия было определено количество классов энергетической эффективности и значения показателей, соответствующих каждому классу. Согласно определенной классификации для реконструируемой системы электроснабжения класс энергетической эффективности класс энергетической эффективности A++, что является достаточно высоким классом энергетической эффективности согласно представленной классификации. Величина относительных потерь электрической энергии в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия и составляет 1,7% от общего потребления электрической энергии. Данный показатель является определяющим при оценке энергетической эффективности.

Заключение

Представлены подробные результаты разработанного проекта, включающего в себя технические мероприятия по повышению энергетической эффективности аммиачного производства предприятия химической промышленности. Проект реконструкции электрической части системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия выполнен для предприятия, расположенного в городе Новомосковск, Московской области. Рассмотрена структура химического предприятия с описанием входящих в его состав производств. Даны характеристики объектов, относящихся к системе электроснабжения аммиачного производства, выбранного в качестве объекта выпускной квалификационной работы. Представлена структура системы электроснабжения химического предприятия и определены распределительные пункты (РП) относящиеся к объекту ВКР – аммиачному производству химического предприятия.

Выполнен подробный расчет электрических нагрузок для РП-5 системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия по выражениям (1) - (10). Составлена расчетная таблица 1, где определены все нагрузки элементов системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия и выполнен расчет нагрузок для всей системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия.

Для повышения энергетической эффективности системы электроснабжения химического предприятия выполнен расчетный анализ технических показателей системы электроснабжения при переводе ее с напряжения питания 6 кВ на напряжение 10 кВ. Данное техническое мероприятие позволит снизить ток в кабельных линиях, а также на шинах подстанций и распределительных пунктов; снизить сечение кабелей распределительной сети; снизить потери активной мощности в системе

электроснабжения аммиачного производства химического предприятия; снизить падение напряжения в линиях распределительной сети аммиачного производства химического предприятия.

Оценка эффективности внедрения указанного мероприятия выполнена путем определения потерь активной мощности и потерь напряжения при передаче мощности по однотипным кабельным линиям. Полученные потери мощности и напряжения для каждого номинального напряжения (6 кВ и 10 кВ) были сравнены между собой. Получено, что снижение потерь активной мощности в системе электроснабжения при переводе ее с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ достигнет 36%, а снижение потерь напряжения достигнет 59,87%. Полученные значения позволяют сделать вывод о целесообразности проведения дальнейших расчетов проекта реконструкции системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия с более детальной оценкой технико-экономических показателей проекта реконструкции.

Выполнен подробный расчет электрических нагрузок системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия по выражениям (1) - (10). Составлена расчетная таблица 2 по аналогии с расчетной таблицей 1, где определены все нагрузки элементов системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия и выполнен расчет нагрузок для всей системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. В уточненном расчете электрических нагрузок химического предприятия учтен перевод всей системы электроснабжения аммиачного производства на напряжение 10 кВ. Для подтверждения эффективности предлагаемого мероприятия выполнен уточненный расчет значения расчетного тока в наиболее загруженной кабельной линии при переводе на напряжение 10 кВ. Снижение тока в наиболее нагруженной линии согласно выражению (19) составило 42,86 % в относительных единицах и на 222,9 А в именованных единицах. Такое снижения тока в линиях позволит использовать кабели в распределительной

сети с меньшим сечением токоведущих жил, а также снизит потери электроэнергии в распределительной сети. Оценка потерь мощности и электроэнергии в системе электроснабжения будет оценена далее в рамках ВКР.

Определен перечень и паспортные данные высоковольтных электродвигателей подлежащих замене в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия для повышения ее энергетической эффективности. Для каждого типа высоковольтного электрического двигателя определены типы механической нагрузки. Для замены выбраны высоковольтные асинхронные электрические двигатели серии ДА304 с номинальными мощностями от 210 до 1250 кВт. Выбраны два высоковольтных синхронных двигателя серии ДСВ с номинальными мощностями 1000 кВт. Выбраны два высоковольтных синхронных двигателя серии СТД мощность 1250 кВт. Также выбраны высоковольтные асинхронные электрические двигатели компании Siemens преимущественно с мощностью 1600 кВт и один двигатель мощностью 630 кВт.

Представлена методика выбора распределительных трансформаторов исходя из мощности потребителей с учетом потерь в трансформаторе. Представлен подробный расчет выбора трансформатора для ТП-67 химического предприятия по указанной методике. Для ТП-67 выбрано два распределительных трансформатора марки ТСЛ-630/10/0,4. Для всех остальных цеховых трансформаторных подстанций выбраны также трансформаторы марки ТСЛ (трансформатор сухой с литой изоляцией) производства АО «Группа СВЭЛ» с мощностями от 630 кВА до 1600 кВА.

Повышение энергоэффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия потребовало перевода ее с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ. При этом будет достигнуто снижение тока в кабельных линиях. Поэтому выбраны новые кабели системы электроснабжения. Для каждой кабельной линии определен способ прокладки. Так как предприятие является химическим, то выбрана прокладка

в галереях либо на эстакадах, частично с одновременным размещением технологических трубопроводов, что снизит стоимость прокладки КЛ, а также повысит надежность функционирования КЛ.

Для реконструируемой системы электроснабжения выполнен расчет токов трехфазного и однофазного коротких замыканий на стороне 10 кВ. Все расчеты сведены в расчетную ведомость токов КЗ (таблица 9). Значения трехфазных и однофазных токов КЗ необходимы для оптимального выбора коммутационного оборудования и электрических аппаратов системы электроснабжения химического предприятия.

Выполнен расчет параметров необходимых для оптимального выбора электрических и коммутационных аппаратов системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия при проведении реконструкции и повышении энергетической эффективности. Для установки выбраны выключатели напряжением 10 кВ марки ВВУ-СЭЩ-10 кВ, измерительные трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЩ-10 кВ и измерительные трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10.

Представлена методика оценки технико-экономической эффективности проекта реконструкции системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Методика позволяет оценить разницу в стоимости потерь электрической энергии и активной мощности для варианта до реконструкции и варианта после реконструкции. Установлено, для кабельных сетей напряжением 10 кВ стоимость потерь активной мощности и электрической энергии будет ниже чем для существующей сети 6 кВ. За счет этой экономии можно получить существенную экономию денежных средств с параллельным получением более эффективной и надежной кабельной сети для системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Кроме того, методика включает в себя определение примерного срока окупаемости предлагаемых мероприятий. По представленной методике определения технико-экономической эффективности проекта представлен

подробный расчет для кабельной линии от ПГВ-3 до РП-3, так как данная кабельная линия является одной из наиболее нагруженных в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Для определения технико-экономических параметров при замене трансформаторов на ТП выполнен подробный расчёт для ТП-68. Все остальные расчеты по представленной методике сведены в таблицы 13 и 15. По результатам расчета в таблицах 13 и 15 оперены сроки окупаемости. Для кабельных линий срок окупаемости составил 14 лет, а для трансформаторных подстанций 15,6 лет. Расчет срока окупаемости не учитывал рост тарифов на электрическую энергию, а также дополнительные расходы на содержание кабельной сети и трансформаторных подстанций, так как данные факторы характерны для обоих вариантов распределительной сети 6 кВ и 10 кВ.

Представлена методика оценки энергетической эффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия. Методика оценки энергетической эффективности включает в себя пять основных этапов. По результатам проведенных расчетов установлено, что КПД распределительной сети аммиачного производства химического предприятия составляет $\bar{\eta}_{PC} = 0,982$ или 98,2 %. Определенный расчетным путем КПД распределительной сети несомненно является достаточно высоким. Однако для окончательного определения энергетической эффективности системы электроснабжения аммиачного производства химического предприятия было определено количество классов энергетической эффективности и значения показателей, соответствующих каждому классу. Согласно определенной классификации для реконструируемой системы электроснабжения класс энергетической эффективности класс энергетической эффективности A++, что является достаточно высоким классом энергетической эффективности согласно представленной классификации. Величина относительных потерь электрической энергии в системе электроснабжения аммиачного производства химического предприятия составляет 1,7% от общего

потребления электрической энергии. Данный показатель является определяющим при оценке энергетической эффективности.

Список используемых источников

1. Анфилофьев Б.А., Скачкова Е.А. Электробезопасность. Расчет защитного заземления. Самара: СамИИТ, 2002. 18 с.
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти; ТГУ 2007. 54 с.
3. Годжелло А.Г., Ю.К. Розанов Электрические и электронные аппараты. М: Издательский центр Академия, 2010. 352 с.
4. ГОСТ Р 51388-99 Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000, 38 С.
5. ГОСТ Р-55025-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия. М: Стандартинформ, 2012. 35 с.
6. ГОСТ-52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1000 В. М: Стандартинформ, 2007. 54 с.
7. Готман В.И. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Томск: ТПУ, 2013. 120 с.
8. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие. М: Инфра-М, 2013. 271 с.
9. Киреева Э.А. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебное пособие. М: Кнорус, 2017. 368 с.
10. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М: Интернет Инжиниринг, 2006. 672 с.
11. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Силовые трансформаторы: справочная книга. М: ГУП ВЭИ, 2004. 616 с.

12. Макаричев Ю.А., Овсянников В.Н. Синхронные машины. Самара: СГТУ, 2010. 156 с.

13. Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1994. 70 с.

14. О внесении изменений в требования к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов: постановление Правительства РФ от 9 декабря 2013 года № 1129 // Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102144819&backlink=1&&nid=102169636> (дата обращения 15.04.2022)

15. Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов: Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2020 № 1136 // Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102169636&backlink=1&&nid=102144819> (дата обращения 15.04.2022)

16. Панова А.В. Экономика энергетики: учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2013. 87 с.

17. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М: Издательство Аст, 2016. 262 с.

18. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.

19. РД 153.34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ОАО РАО ЕЭС России, 1998. 131 с.

20. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1992. 9 с.

21. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1993. 32 с.

22. Степкина Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.

23. Jensen C. F. Online Location of Faults on AC Cables in Underground Transmission Systems. Alborg: Department of Energy Technology, 2014. p. 221.

24. Riley J. System relay protection. // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 211-220.

25. Shaohua C., Ma Biyan A comprehensive and quantitative calculation of the reliability of relay protection systems // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 101-115.

26. Tang W.H., Wu Q.H. Condition monitoring and assessment of power transformers using computational intelligence. Liverpool: The University of Liverpool, 2011. 194 p.

27. Zakhidov R. An Approach to the Creation of the Adaptive Control System for Integration of Nonsteady Power Sources into a Common Electric Power Grid // Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management. 2016. №1 P. 563-574.