

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение станкостроительного завода

Обучающийся

П.В. Степанов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2022

Аннотация

В бакалаврской работе спроектирована система электроснабжения станкостроительного завода. В ходе выполнения работы были определены расчетные нагрузки по всем корпусам предприятия. Выполнен расчет системы внутреннего освещения производственных корпусов и системы наружного освещения территории предприятия. Определены координаты центра электрических нагрузок по предприятию в целом. Выбрано целесообразное напряжение внутрицеховых сетей. Произведен выбор числа, мощности цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств и определены потери активной и реактивной мощности в трансформаторах. Для распределения электрической энергии по внутренней территории предприятия применены сети с номинальным напряжением 10 кВ, которые обладают меньшими потерями по сравнению с сетями напряжением 6 кВ, и позволяют пропускать большую мощность по проводникам одинакового сечения. Произведён выбор типа кабеля и расчет сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ. Выполнена технико-экономическое сравнение двух вариантов схем внутреннего электроснабжения. Выбраны число и мощность трансформаторов ГПП. Определено напряжение системы внешнего электроснабжения и выбрана ее схема. Произведен расчет токов короткого замыкания, выбрано и проверено на устойчивость к токам КЗ электрооборудование на ГПП. Определены требования к автоматизированной системе контроля и учета электроэнергии. Выполнен расчет заземляющего устройства.

Выпускная квалификационная работа содержит в себе пояснительную записку, включающую 88 страниц печатного текста, дополненного 11 таблицами. Графическая часть, состоящая из чертежей и плакатов, выполнена на 6 листах А1.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика предприятия.....	7
1.1 Техническое задание на проектирование электроснабжения станкостроительного завода	7
1.2 Краткая характеристика завода	12
2 Расчет электрических нагрузок по предприятию с определением их центра	13
2.1 Выбор метода расчета максимальных нагрузок	13
2.2 Расчет электрических нагрузок осветительной сети.....	13
2.3 Расчет координат ЦЭН	26
3 Система внутреннего электроснабжения	28
3.1 Обоснование напряжения внутрицеховых сетей промышленного предприятия	28
3.2 Определение количества и номинальной мощности трансформаторов на КТП и конденсаторных установок	29
3.3 Расчет потерь активной и реактивной мощности в СТ.....	31
3.4 Выбор рационального напряжения внутризаводского электроснабжения	34
3.5 Выбор кабельных линий распределительной сети 10 кВ	35
3.6 Расчет токопровода. (II вариант схемы внутреннего электроснабжения)	46
3.7 Техничко-экономическое сравнение вариантов схем внутреннего электроснабжения	47
4 Система внешнего электроснабжения	49
4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП.....	49
4.2 Определение напряжения системы внешнего электроснабжения и выбор его схемы	51
5 Расчет токов короткого замыкания. Выбор электрооборудования	64

5.1 Расчет токов короткого замыкания	64
5.2 Выбор электрооборудования	75
6 Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии	78
6.1 Назначение и состав системы	78
6.2 Функции, выполняемые системой.....	78
6.3 Технические данные системы.....	79
7 Расчет заземляющего устройства	80
Заключение	85
Список используемых источников.....	86

Введение

«По мере развития электропотребления усложняются и системы электроснабжения промышленных предприятий. В них включаются сети высоких напряжений, возникает необходимость внедрять автоматизацию систем электроснабжения промышленных предприятий и производственных процессов» [1].

Главной задачей в настоящее время является создание рациональных систем электроснабжения промышленных предприятий, которое связано с решением следующих вопросов:

- «Снижение числа трансформаций, что сократит потери электроэнергии и затраты на компенсацию реактивной мощности.
- Выбором и применением рациональных напряжений, что приводит к значительному снижению потерь электроэнергии в системах электроснабжения.
- Правильным выбором места размещения цеховых и главных понизительных подстанций. Расположение питающих подстанций в соответствующих центрах электрических нагрузок обеспечивает снижение годовых затрат.
- Дальнейшим совершенствованием методик определения электрических нагрузок.
- Рациональным выбором числа и мощности трансформаторов, а также схем электроснабжения и их параметров.
- Совершенствованием стандарта номинальных мощностей силовых трансформаторов.
- Созданием эффективного математического обеспечения автоматизированных систем управления электроснабжением» [2].

Решение этих задач должно производиться в комплексе с применением систематизированного подхода. Систематизированный подход включает в себя решение вопросов управление качеством электрической энергии, которое

направлено на снижение ее потерь в СЭС предприятия и на рост общей производительности промышленного производства.

«Решение вопросов электроснабжения предприятий неразрывно связано с охраной труда обслуживающего персонала, производственной санитарией помещений и выполнением мероприятий по технике безопасности и правил эксплуатации электрооборудования» [2].

Целью работы является проектирование надежной системы электроснабжения станкостроительного завода.

К задачам работы относятся расчет электрических нагрузок по предприятию, выбор силовых понижающих трансформаторов для установки на трансформаторных подстанциях, выбор и проверка на стойкость к токам коротких замыканий электрооборудования системы электроснабжения предприятия.

1 Характеристика предприятия

1.1 Техническое задание на проектирование электроснабжения станкостроительного завода

Перечень электроприемников предприятия приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Ведомость установленной мощности электроприемников по цехам предприятия

Отдельные ЭП и их группы	Количество ЭП шт.	Номинальная нагрузка при ПВ=100% кВт	
		1 ЭП	Группа
1	2	3	4
Электроприемники с номинальным напряжением 0,4 кВ Главный корпус:			
- Эл. двиг. транспортерных лент	53	30	1590
- Эл. двиг. конвейерных линий	5	15	75
	30	30	900
- Эл. двиг. заблокированные	53	30	1590
- Эл. двиг. транспортеров	5	15	75
- Эл. двиг. конвейеров	30	30	900
- Эл. двиг. станочного оборудования (подразд. крупносер. выпуска)	20	45	900
	35	37	1295
	50	22	1100
	40	40	1600
	40	30	1200
- Эл. двиг. автомат. линий	60	30	1800
- Эл. двиг. поточных линий			
- Эл. двиг. автоматических станков по обработке прутков	150	15	2250
	20	37	740
- Эл. двиг. шлиф. станков	80	22	1760
- Электроаппараты испытат. стендовых установок	60	11	660
	90	7,5	675
	10	10	100
- ЭД кранов	25	18,5	462,5
- ЭД кран-балок	14	18,5	259
- ЭД тельферов	30	18,5	555
- ЭД вентиляторов	20	15	300

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
- Установки электросушильные	10 10 30	35 30 20	350 300 600
- Приборы нагрева небольшой мощности	40 20 40	4 1,5 3	160 30 120
- Ручной эл. инструмент перемещаемый	180	2,2	396
- Двигательно-генераторная установка	20	125	2500
- Генераторные установки	25	100	2500
Всего по главному корпусу:			27742
Вспомогательный корпус:			
- Эл. двиг. крановых уст.	6 3	15 22	90 66
- Эл. двиг. тельферных уст.	3 5	15 30	45 150
- Станки мелкоштучного выпуска	10 10 9 15 4	4 15 30 37 45	40 150 270 555 180
- Эл. двиг. прессов	10 10	75 37	750 370
- Эл. двиг. ножниц	10	30	300
- Эл. двиг. гибочных машин	10 10	80 45	800 450
- Установки для ручной дуговой сварки	20	200	2000
- Гальванические ванны покр.	8	20	160
- Подзарядные установки	3	20,5	61,5
- Электроды сопротивления	16 3	30 50	480 150
Итого по вспомогательному корпусу:			7067
Блок вентиляционных цехов:			
- Эл. двиг. вентиляторов	50	30	1500
- Эл. двиг. дутьевых компрессоров	10	150	1500
- Эл. двиг. компрессоров	10	150	1500
Итого блоку вспом. цехов:			4500

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Сборочный цех			
- Эл. двиг. конвейеров не парные	25	30	750
- Эл. двиг. конвейеров парные	25	7	175
	15	18,5	277,5
	6	22	132
- Электropечи сопротивления с автоматизиров. загрузкой	10	40	400
- Автоматические установки для просушки	10	3	30
	6	9	54
	10	7,5	75
- Эл. двиг. станков серийного производства	10	0,6	6
	10	2,5	25
	50	11,5	550
	30	45	1350
	32	37	1184
	18	55	990
- Эл. двиг. прутковых автоматов	40	20	800
	50	15	750
	60	10	600
	16	30	480
- Электросварочные автоматы	21	125	2625
- Двигатель-генератор ТВЧ			
- Электроинструмент переносной	30	2,5	75
	70	4	280
- Вентиляционное оборудование	10	15	150
	10	18,5	185
	5	22	110
Итого по сборочному цеху:			12053
Литейный цех:			
- Эл. двиг. формовочных машин	10	22	220
	30	30	900
	10	37	370
	10	63	630
- Эл. двиг. бегунов	25	75	1875
	25	90	2250
- Эл. двиг. очистных уст.	10	22	220
- Эл. двиг. транспортеров	10	30	300
	25	15	375
- Установки для ручной дуговой сварки	20	50	1000
	4	40	160
- Магнитные отделители	10	30	300
- Эл. двиг. вентиляц. оборуд.	5	22	110
	12	30	360
- Эл. двиг. воздуходувок	3	22	66
Итого по литейному цеху:			9136

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Кузнечный цех			
- Эл. двиг. крановых уст.	6	11	66
	4	30	120
- Эл. двиг. подъемно-трансп.	5	22	110
- Эл. двиг. подъемных уст.	6	22	132
- Электрич. печи	30	30	900
сопротивления	15	50	750
	12	75	900
- Эл. двиг. машин ковки	10	110	1100
	5	90	450
	50	63	3150
	24	22	528
- Эл. двиг. прессовых агрегатов	44	45	1980
	15	37	555
- Двигатель-генераторные установки многоприв.	8	125	100
- Сварочные установки с автоматизированным вып. работ	11	30	330
- Эл. двиг. вентиляции	4	22	88
- Эл. двиг. воздушнонагрева	1	30	30
Итого по кузнечному цеху:			12189
Деревообрабатывающий цех			
- Эл. двиг. деревообрабатывающих станков	38	22	836
	10	15	150
- Сушильные станки	10	5,5	55
	8	7,5	60
	10	3	30
- Нагревательные электроприборы	10	1,5	15
	4	3	12
	5	4	20
- Вторичные производственные аппараты	10	15	150
	19	11	209
	5	7	35
	15	18	270
Итого по деревообрабатывающему цеху:			1842
Склад сжатых газов			
- Эл. двиг. компрессорного оборудования	9	75	675
	5	90	450
- Вторичные производственные аппараты	9	15	135
Итого по складу сжатых газов:			1260

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Компрессорная станция:			
- Эл. двиг. кранов	2	22	44
- Эл. двиг. кран-балок	2	18,5	37
- Эл. двиг. тельферов	1	4	4
- Эл. двиг. насосов низкого давления	10	75	750
- Вспом. буродование	10	15	150
Итого по компрес. станции:			985
Локомотивное депо:			
- Эл. двиг. кранов	2	25	50
- Эл. двиг. кран-балок	1	10	10
- Эл. двиг. тельферов	3	7	21
- Эл. двиг. металлообр. станк.	5	4	20
	5	10	50
	20	22	440
- Установки ручной дуговой сварки	7	30	210
Итого по локомот. депо:			801
Градирня:			
- Нагревательные приборы	1	15	15
- Сушильные шкафы	3	4	12
Итого по градирни:			27
Насосная станция:			
- Эл. двиг. насосов	10	75	750
- Вспом. оборуд. установок	5	18,5	92,5
	4	11	44
Итого по насосной:			886
Склад ГСМ			
- Эл. двиг. кранов	2	30	60
- Эл. двиг. кран-балок	4	15	60
- Эл. двиг. тельферов	3	7,5	22,5
- Эл. двиг. насосной	10	30	300
	9	15	135
Итого по складу горючего:			577
Цех регенерации масла:			
- Эл. двиг. насосов	5	30	150
- Эл. двиг. сепараторов	10	15	150
- Эл. двиг. очистителей	10	15	150
- Вторичные производственные аппараты	5	7,5	37,5
	4	22	88
Итого по цеху реген. масла:			575
Склад тарных химикатов:			
- Эл. двиг. кранового оборуд.	3	15	45
- Эл. двиг. подъемно- трансп.	4	18,5	74
- Эл. двиг. подъемников	3	11	33
- Эл. двиг. передающих лент	10	4	40
	8	5,5	44
Итого по складу химикатов:			326

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Администр. корпус: - Персон. компьютеры	20 20	0,6 1,5	12 30
- Электрооборудование АСУ	20	0,4	8
- Эл. двиг. вентиляторов	2	30	60
- Сист. кондиционирования	2	15	30
Итого по админ. корпусу:			140
Всего по предпр. на 0,4 кВ Потребители ЭЭ на ном. напр. 6-10 кВ литейный цех предпр. ДСП с печными СТ $S_{ТМ}=5000$ кВА компрессорная станция предпр. Синхрон. двиг. СДТ-630 насосная станция предпр. Синхрон. двиг. СДТ-630	4 8 5	5000 630 630	20000 5040 3150
Всего по предпр. на 6-10 кВ			28190
Суммарная нагрузка по предприятию			108299

1.2 Краткая характеристика завода

Станкостроительный завод в комплекс станкостроительного объединения и выпускает станки нескольких модификаций.

Завод максимально приближен к источникам сырья, топлива, водных ресурсов, что позволяет достаточно эффективно использовать их, а также позволяет регулировать занятость населения данного района.

К основным цехам предприятия относятся: главный производственный корпус, литейный цех, кузнечный цех и цех по сборке готовых изделий.

«Остальные цеха играют вспомогательную роль- обеспечивают необходимый технологический процесс по изготовлению станков» [3].

Литейный цех работает в три смены, в ночную смену загрузка ДСП составляет 50% от полной.

Общая площадь территории завода равна 1215000 м² или 121,5 Га.

Вывод: приведена краткая характеристика предприятия и номинальных мощностей по цехам.

2 Расчет электрических нагрузок по предприятию с определением их центра

2.1 Выбор метода расчета максимальных нагрузок

ЭП разбиваются на подгруппы со схожими коэффициентами использования $K_{и}$ и мощности $\cos\varphi$ [1-3].

Расчеты производим по методике, изложенной в пособиях [4, 5].

Результаты расчетов заносим в таблицу 2.

2.2 Расчет электрических нагрузок осветительной сети

2.2.1 Общие вопросы проектирования

«Источниками света при электрическом освещении являются лампы низкого и высокого давления - люминесцентные, ртутные дуговые типа ДРЛ» [4], натриевые и ксеноновые, а также получившие широкое распространение в последнее время светодиодные. Основной величиной, характеризующей источники света, является световой поток Φ , измеряемый в люменах (лм) световой поток зависит от электрической мощности, потребляемой источниками света.

Интенсивность освещения различных поверхностей характеризуется освещенностью E , т.е. количеством светового потока Φ , приходящимся на единицу освещаемой поверхности F :

$$E = \frac{d\Phi}{dF}. \quad (1)$$

«За единицу освещенности принят люкс (лк), равный освещенности площади $F=1 \text{ м}^2$ от светового потока $\Phi=1 \text{ лм}$ » [4].

Таблица 2 - Определение расчетных низковольтных и высоковольтных нагрузок

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество эл. приемн., шт.		Коефф. использ	cosφ tgφ	Средняя нагрузка за макс загруз. смену		Эффективное число эл. прием.	Коефф. макс.	Расчет. нагрузка	
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В групп	Общее			P _{см} кВт	Q _{св} квар			P _р , кВт	Q _р , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Низковольтная нагрузка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Главный корпус:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Электродвигатели транспортеров несблокированные	15 30	75 2490	5 83	88	0,4	0,75 0,88	1026	902	87	1,1	1128	902
Эд транспортеров сблокированные	30 15	2490 75	83 5	88	0,55	0,75 0,88	1410	1241	87	1,08	1523	1241
Эд станков	45 37 22 40	900 1295 1100 1600	20 35 50 40	145	0,16	0,5 1,73	783	1354	136	1,15	901	1355
Эд автоматических и поточных линий	30 30	1200 1800	40 60	100	0,55	0,7 1	1650	1650	100	1,08	1782	-
Двигатель- генератор ТВЧ	125	2500	20	20	0,5	0,7 1	1250	1250	20	1,08	1350	1250
Прутковые автоматы	15	2250	150	150	0,2	0,5 1,73	570	986	150	1,1	627	986
Шлифовальные станки	37 22	740 1760	20 80	100	0,35	0,65 1,17	875	1023	95	1,2	1050	1023

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Электрооборудование испытательных стендов	11 7,5	660 675	60 90	150	0,35	0,5 1,73	467	808	144	1,08	504	808
Эд кранов	10	100	10									
Эд кран-балок	18,5	462	25			0,5						
Эд тельферов	18,5	259	14	49	0,1	1,73	82	142	47	1,22	104	142
Мелкие нагревательные приборы	4 1,5 3	160 30 120	40 20 40	100	0,6	1 0	186	0	91	1,07	199	0
Электро Инструмент переносной	2,2	396	180	180	0,06	0,5 1,73	24	41	180	1,16	28	41
Ламповые генераторы	100	2500	25	25	0,7	0,85 0,62	1750	1085	25	1,1	1925	1085
Эд вентиляторов	18,5 15	555 300	30 20	50	0,65	0,8 0,75	556	389	49	1,1	612	389
Сушильные шкафы непрерывной загрузки	35 30 20	350 300 600	10 10 30	50	0,7	0,95 0,33	875	289	47	1,07	936	289
Итого по цеху:	-	27742	-	-	-	-	11504	11163	-	-	12669	11163
Вспомогательный корпус. Блок вентиляционных цехов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Эд кранов	15 22	90 66	6 3									
Эд тельферов	15 30	45 150	3 5	17	0,1	0,5 1,73	35	61	15	2,24	78	61

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Станки мелкосерийного производства Эд прессов Эд ножниц Эд гибочных машин	4	40	10									
	15	150	10									
	30	270	9									
	37	555	15									
	45	180	4									
	75	750	10									
	37	370	10									
	30	300	10									
	80	800	10				0,4					
45	450	10		98	0,12	2,31	464	1071	74	1,75	812	1071
Сварочные трансформаторы ручной сварки						0,35						
	100	2000	20	20	0,3	2,68	600	1608	20	1,34	809	1608
Гальванические ванны Зарядные устройства	20	160	8			0,8						
	20,5	61,5	3	11	0,7	0,75	155	116	11	1,16	180	116
Печи сопротивления	50	150	3			0,95						
	30	480	16	19	0,7	0,33	441	145	18	1,1	485	145
Вентиляторы Эд дутьевых насосов Эд компрессоров	30	1500	50									
	150	1500	10			0,8						
	150	1500	10	70	0,65	0,75	2925	2194	41	1,12	3276	2194
Итого по цехам:	-	11567	-	-	-	-	4620	5195	-	-	5640	5195

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сборочный цех: Эл. двиг. станочного оборудования	0,6	6	10									
	2,5	25	10									
	11,5	550	50									
	45	1350	30									
	37	1148	32			0,5						
	55	990	18	150	0,16	1,73	656	1135	102	1,18	774	1135
Эл. двиг. автоматич. линий по выпуску прутков	20	800	40									
	15	750	50			0,5						
	10	600	60	150	0,2	1,73	430	744	140	1,18	507	744
Электросварка	30	480	16	16	0,25	0,7 1	120	120	16	1,5	180	120
Электроинструменты переносные	2,5	75	30			0,5						
	4	280	70	100	0,06	1,23	21	37	96	1,21	25	37
Эл. двиг. конвейерные не заблокиров.	30	750	25			0,75						
	7	175	25	50	0,4	0,89	370	329	36	1,12	414	329
Эл. двиг. конвейерные сблокиров.	18,5	277	15			0,75						
	22	132	6	21	0,55	0,88	225	198	21	1,12	252	198
Электрические печи сопротивления с автозагрузкой						0,95						
	40	400	10	10	0,7	0,33	280	92	10	1,12	313	92
Сушильные шкафы	3	30	10									
	9	54	6			0,85						
	7,5	75	10	26	0,5	0,62	79	49	22	1,11	88	49
Двигатель генератор ТВЧ	125	2625	21	21	0,5	0,7 1	1312	1312	21	1,12	1470	1312
Вентиляционное оборудование	15	150	10									
	18,5	185	10			0,8						
	22	110	5	25	0,65	0,75	290	218	24	1,12	325	218

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Итого по цеху:	-	12053	-	-	-	-	3783	4234	-	-	4348	4234
Литейный цех:												
Формовочные машины	22 30 37	220 900 370	10 30 10		50	0,3 1,17	447	523	49	1,2	536	523
Бегуны	63	630	10									
Очистные барабаны	75 90	1875 2250	25 25	60	0,2	0,5 1,73	951	1645	59	1,25	1189	1645
Эл. двиг. транспортеров	22 30 15	220 300 375	10 10 25	45	0,55	0,75 0,88	492	433	41	1,12	551	433
Сварочные трансформаторы для выполнения ручной сварки	50	1000	20	20	0,3	0,35 2,68	300	804	20	1,45	435	804
Магнитные разделители	40	160	4	4	0,8	0,8 0,75	128	84	4	1,12	144	84
Вентиляторы	30 22	300 110	10 5									
Воздуходувки	30 22	360 66	12 3	30	0,65	0,8 0,75	543	407	29	1,12	608	407
Итого по цеху:	-	9136	-	-	-	-	2861	3896	-	-	3463	3896
Кузнечный цех:												
Эл. двиг. кранов	11	66	6									
Эл. двиг. кран-балок	30	120	4									
Эл. двиг. тельферов	22 22	110 132	5 6	21	0,1	0,5 1,73	43	74	19	2,24	96	74

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Эл. двиг. ковочных машин	75 110 90 63	900 1100 450 3150	12 10 5 50			0,65 1,17	1120	1310	73	1,23	1377	1310
Сварочные тр-ры автоматической и полуавтомат. сварки	30	330	11	11	0,3	0,6 1,33	99	132	11	1,6	158	132
Кузнечно-прессовое оборудование	22 45 37	528 1980 555	24 44 15		83	0,65 1,17	521	609	77	1,2	625	609
Электрические печи сопротивления	30 50	900 750	30 15	45	0,7	0,95 0,33	1155	388	42	1,12	1294	388
Многопостовые двигатель-генераторы ТВЧ	125	1000	8	8	0,5	0,7 1	500	500	8	1,12	560	500
Вентиляторы воздушные завесы	22 30	88 33	4 1	5	0,65	0,8 0,75	77	58	4	1,12	87	58
Итого по цеху:	-	12189	-	-	-	-	3515	3064	-	-	4197	3064
Деревообрабатывающий цех: деревообраб. станки	22 15	836 150	38 10	48	0,12	0,65 1,17	118	138	47	1,45	171	138
Сушильные станки	5,5 7,5 3	55 60 30	10 8 10	28	0,5	0,85 0,75	72	54	25	1,12	88	54

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Нагревательные электроприборы	1,5 3 4	15 12 20	10 4 5		19	0,6 1 0	28	0	16	1,12	32	0
Вспомогательное оборудование	15 11 7 18	150 209 35 270	10 19 5 15		49	0,7 0,8 0,75	465	349	46	1,08	502	349
Итого по цеху:	-	1842	-	-	-	-	683	541	-	-	786	541
Склад сжатых газов Эл. двиг. компрессоров Прочее вспомогательное электрооборудование	75 90 15	675 450 135	9 5 9		23	0,7 0,8 0,75	882	661	37	1,14	1005	661
Итого по складу:	-	1260	-	-	-	-	882	661	-	-	1005	661
Компрессорная станция: Эл. двиг. кранов Эл. двиг. кран-балок Эл. двиг. тельферов	22 18,5 4	44 37 4	2 2 1		5	0,1 0,5 1,73	8,5	15	4	3,43	29	16
Вспомогательное электрооборудование Эл. двиг. насосов низкого давления	15 75	150 750	10 10		20	0,7 0,8 0,75	630	473	14	1,12	706	473
Итого по станции:	-	985	-	-	-	-	638	487	-	-	735	489

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Локомотивное депо: Эл. двиг. кранов Эл. двиг. кран-балок Эл. двиг. тельферов	25 10 7	50 10 21	2 1 3	6	0,1	0,5 1,73	8,1	14	4	3,43	28	15
Эл. двиг. металлорежущих станков	4 10 22	20 50 440	5 5 20	30	0,12	0,65 1,17	61	72	25	2,15	132	72
Сварочные тр-ры ручной сварки	30	210	7	7	0,3	0,35 2,68	63	169	7	2,2	139	186
Итого по депо:	-	801	-	-	-	-	132	255	-	-	299	273
Градирня: Нагревательные приборы Сушильные шкафы	15 4	15 12	1 3	4	0,6	0,85 0,75	16	12	4	1,12	18	12
Итого:	-	27	-	-	-	-	16	12	-	-	18	12
Насосная станция Вспомогательное оборудование Насосы низкого давления	18,5 11 75	92 44 750	5 4 10	19	0,7	0,8 0,75	620	465	13	1,17	725	465
Итого:	-	886	-	-	-	-	620	465	-	-	725	465

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Склад ГСМ и цех регенерации масла Эд кранов Эд кран-балок Эд тельферов	30 15 7,5	60 60 22	2 4 3	9	0,1	0,5 1,79	14	25	7	3,23	45	27
Электропомпы Насосы Эд сепараторов Очистители Вспомогательное оборудование	30 15 30 15 15 7,5 22	300 135 150 150 150 37 88	10 9 5 10 10 5 4	53	0,7	0,8 0,75	707	530	46	1,12	792	530
Итого:	-	1153	-	-	-	-	721	555	-	-	837	557
Склад тарных химикатов: Эл. двиг. кранов Эл. двиг. кран-балок Эл. двиг. тельфера	15 18,5 11	45 74 33	3 4 3	10	0,1	0,75 0,88	16	14	8	2,72	44	15
Ленточные транспортеры	4 5,5	40 44	10 8	18	0,4	0,75 0,88	34	30	17	1,26	43	30
Итого по складу:	-	240	-	-	-	-	50	44	-	-	88	45

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Заводуправление Электрооборудова ние счетных машин Эл оборудование АСУ	0,6 1,5 0,4	12 30 8	20 20 20		60	0,55	0,75 0,88	27	24	45	1,13	30	24
Вентиляторы кондиционеры	30 15	60 30	2 2	4	0,65	0,8 0,75	59	44	3	1,13	90	69	
Итого по заводуправлению	-	140	-	-	-	-	86	68	-	-	120	93	
Высоковольтная нагрузка: Насосная станция СТД-630-2	630	3150	5	5	0,8	0,9 0,48	2527	0	5	1,1	2780	0	
Компрессорная станция СТД-630-2	630	5040	8	8	0,8	0,9 0,48	4032	0	8	1,05	4232	0	
Литейный цех-ДСП	5000	20000	4	4	0,75	0,9 0,48	15000	7200	4	1,2	18000	7920	
Итого высоковольтной нагрузки	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25010	7920	

Самой низкой светоотдачей обладают лампы накаливания 10-20 лм на 1 Вт.

Это объясняется тем, что около 5% электроэнергии расходуется на световое излучение, а свыше 95% электроэнергии расходуется на создание невидимого инфракрасного и ультрафиолетового излучения. Ртутные лампы низкого давления имеют светоотдачу 40-45 лм/Вт, а высокого давления 50-60 лм/Вт.

Таким образом по светоотдаче лампы накаливания неэкономичны.

Световой дискомфорт наблюдается при освещенности 30 лк.

Экономичность газоразрядных ламп проявляется при норме освещенности свыше 150 лк. При меньшей освещенности ощущается световой дискомфорт.

Газоразрядные лампы зажигаются, как правило, в диапазоне температур +5-50⁰С. При включении ламп типа ДРЛ процесс зажигания занимает несколько минут.

Средняя продолжительность горения для различных типов ламп составляет: для ламп накаливания – 1000 ч, для люминесцентных ламп – 4000-5000 ч, для ртутно-дуговых – 7500-10000 ч.

Включение газоразрядных ламп в сеть через пускорегулирующую аппаратуру (ПРА) приводит к снижению коэффициента мощности, для повышения $\cos\varphi$ до значения 0,9-0,95 используются статические конденсаторы.

2.2.2 Расчет осветительной нагрузки

Выполним расчет необходимого числа светильников и потребления электрической мощности системой освещения в главном производственном корпусе предприятия.

«По справочным данным и данным завода изготовителя светодиодных светильников» [8]:

$$P_{уд} = 15,4 \text{ Вт} / \text{м}^2; K_{с,о} = 0,95; K_{пра} = 1,2; \cos\varphi / \text{tg}\varphi = 0,9 / 0,48; F = 122400 \text{ м}^2$$

«Установленная мощность осветительной нагрузки» [6, 7]:

$$P_{y,o} = 1,54 \times 10^{-3} \times 122400 = 1885 \text{ кВт.}$$

«Расчетная активная нагрузка» [6]:

$$P_{p,o} = 1885 \times 0,95 \times 1,2 = 2149 \text{ кВт.}$$

«Расчетная активная нагрузка с учетом аварийного освещения» [6]:

$$P_{p,o} = 1,1 \times 2149 = 2364 \text{ кВт.}$$

«Расчетная реактивная нагрузка» [8]:

$$Q_{p,o} = 2149 \times 0,48 = 1031 \text{ квар.}$$

«Полная расчетная осветительная нагрузка» [8]:

$$S_{p,o} = \sqrt{2364^2 + 1031^2} = 2579 \text{ кВА.}$$

В прочих производственных цехах расчеты системы освещения производим по такой же методике.

Расчет наружного освещения территории предприятия выполняется в следующем порядке:

По справочникам принимается: $P_{уд,o}=0,2 \text{ кВт/м}^2$;

$$K_{c,o}=1; K_{пра}=1,1; \cos\varphi/\text{tg}\varphi=0,9/0,48.$$

Рассчитываем площадь освещения:

$$F_3=121400 \text{ м}^2, F_{\text{ц}\Sigma}=502260 \text{ м}^2$$

$$F_{3,0}=F_3-F_{\text{ц}\Sigma}, \quad (2)$$

где $F=1214000-502260=712740 \text{ м}^2$;

$$P_{y,0}=0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 712740=214 \text{ кВт}$$

$$P_{p,0}=214 \cdot 1,1=235 \text{ кВт}$$

$$P_{p,0}=235 \cdot 1,1=258 \text{ кВт}$$

$$Q_{p,0}=258 \cdot 0,48=113 \text{ квар}$$

$$S_{p,0} = \sqrt{258^2 + 113^2} = 282 \text{ кВА.}$$

2.3 Расчет координат ЦЭН

«Координаты центра активных и реактивных электрических нагрузок завода определяется по формулам» [10]:

$$X_A = \frac{\sum P_{p,ц,i} X_i}{\sum P_{p,ц,i}}; \quad (3)$$

$$Y_A = \frac{\sum P_{p,ц,i} Y_i}{\sum P_{p,ц,i}}. \quad (4)$$

где « X_A, Y_A – координаты центра нагрузок I-го цеха;

$P_{p,ц,i} Q_{p,ц,i}$ – расчетная активная и реактивная нагрузки I-го цеха» [10].

Данные расчетов сводим в таблицу 3.

Вывод: произведен расчет электрических нагрузок, определены координаты центра электрических нагрузок и выбрано место расположения ГПП.

Таблица 3 - Расчет центра активных нагрузок предприятия

Наименование цеха	X_i , м	Y_i , м	$P_{р,вн,l}$ кВт	$P_{р,нн}$, кВт	$P_{р,о}$ кВт	$P_{р,ц}$ кВт	$P_{р,ц}X_i$ кВт·м	$P_{р,ц}Y_i$ кВт·м
Главный корпус	375	600	-	12669	2364	15033	5637375	9019800
Вспомогательный корпус	135	607	-	2364	319	2648	362340	1629188
Блок вентиляционных цехов	150	462	-	3276	21	3297	494550	1523214
Сборочный цех	835	605	-	4348	1310	5658	4724430	3423090
Литейный цех	382	120	18000	3463	1866	23392	8935744	2807040
Кузнечный цех	945	120	-	4197	1682	5879	5555655	705480
Деревообрабатывающий цех	1175	75	-	786	220	1006	1182050	75450
Склад сжатых газов	1112	482	-	1005	91	1096	1218752	528272
Компрессорная станция	645	482	4232	735	73	5040	3250800	242980
Локомотивное депо	1375	125	-	299	490	789	1084875	98625
Градирня	75	212	-	18	23	41	3075	8692
Насосная станция	80	95	2780	725	18	3523	281840	334685
Склад ГСМ	1520	612	-	45	73	118	179360	72216
Цех регенерации масла	1520	425	-	792	137	929	1412080	394825
Склад хим. компонентов	1362	600	-	88	247	335	456270	201000
Администрат. корпус	642	775	-	120	100	220	141240	170500
Всего по заводу:	-	-	-	-	-	68976	34920436	23421357

3 Система внутреннего электроснабжения

3.1 Обоснование напряжения внутрицеховых сетей промышленного предприятия

«Цеховые электрические сети напряжением до 1000 В выполняются на следующие стандартные напряжения: 220,380,660 В.

Использование напряжения 220 В для питания электродвигателей экономически не оправдано, вследствие больших потерь в сетях и большего расхода цветных металлов. В связи с этим напряжение 220 В используется в осветительных установках, для нагревательных приборов и мелких однофазных двигателей.

Наиболее широкое распространение в системах электроснабжения цехов получило напряжение 380 В, которое также используется в сетях с глухозаземленной нейтралью для питания осветительных установок. Система 380/220 В удовлетворяет следующим основным условиям питания потребителей:

- возможность совместного питания электродвигателей и осветительных установок;
- относительно низкое напряжение между фазой и землей» [5];
- маломощные электродвигатели на напряжение 380 В стоят дешевле, чем на напряжение 660 В.

Согласно ПУЭ в сетях с напряжением 380 В применяются электродвигатели не выше 250 кВт, в отдельных случаях мощность электродвигателей не должна превышать 320 кВт.

Исходя из условий технологических процессов станкостроительного завода и принимая во внимание, что основную нагрузку завода составляют металлорежущие станки и конвейеры с мощностью электродвигателей, не превышающей 250 кВт, принимаем для питания внутрицеховых сетей напряжение 380/220 В [9, 10].

3.2 Определение количества и номинальной мощности трансформаторов на КТП и конденсаторных установок

Определение числа СТ и конденсаторных установок выполним на примере сборочного цеха предприятия. К нему подключим нагрузку заводоуправления и компрессорной станции, где предусматриваем установку распределительных пунктов РП-0,38 кВ.

$$P_{p,нн} = P'_{p,нн4} + P'_{p,нн9} + P'_{p,нн16} = (P_{p,нн4} + P_{p,о4}) + (P_{p,нн9} + P_{p,о9}) + (P_{p,нн16} + P_{p,о16}); \quad (5)$$
$$P_{p,нн} = (4348 + 1310) + (735 + 73) + (120 + 100) = 6686 \text{ кВт.}$$

Аналогично определяем реактивную нагрузку:

$$Q_{p,нн} = Q'_{p,нн4} + Q'_{p,нн9} + Q'_{p,нн16}; \quad (6)$$
$$Q_{p,нн} = 4234 + 489 + 93 = 4816 \text{ квар.}$$
$$S_{p,нн} = \sqrt{6686^2 + 4816^2} = 8240 \text{ кВА.}$$
$$P_{см,нн} = P_{см,нн4} + P_{см,нн9} + P_{см,нн16} + P_{см,о\Sigma}; \quad (7)$$

где $P_{см,о\Sigma} = 1483 \text{ кВт}$;

$$P_{см,нн} = 3783 + 638 + 86 + 1483 = 5990 \text{ кВт.}$$

Поскольку среди электроприемников производственного цеха преобладают ЭП, относящиеся ко 2-ой категории, то принимаем значение коэффициента загрузки равным $K_3 = 0,75$.

Найдем значение плотности нагрузки внутри цеха

$$\sigma = \frac{8240}{67400} = 1,12 \text{ кВА / м}^2$$

выбираем трансформаторы мощностью 1600 кВА

$$N_0 = \frac{5990}{0,75 \cdot 1600} = 6 \text{ шт.}$$

$$Q_{\text{вн}} = \sqrt{(0,75 \cdot 1600 \cdot 6)^2 - 6686^2} = 2671 \text{ квар.}$$

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{кв}} = 4816 - 2671 = 2145 \text{ квар}$$

Поскольку в производственном цехе нет синхронных двигателей, которые можно было бы использовать в целях компенсации реактивной мощности, то выбираем 7 конденсаторных установок, для которых определяем суммарное значение вырабатываемой реактивной мощности

$$Q_{\text{бк}} = 280 \cdot 7 = 1960 \text{ квар}$$

Определяем величину $Q'_{\text{вн}}$

$$Q'_{\text{вн}} = 4816 - 1960 = 2856 \text{ квар}$$

Тогда коэффициент загрузки трансформаторов с учетом установки КУ составит

$$K_3 = \frac{\sqrt{6686^2 + 2856^2}}{6 \cdot 1600} = 0,75 ,$$

что находится в допустимых пределах.

В итоге принимаем к размещению внутри сборочного цеха 6 КТП с установкой на каждой по одному трансформатору типа ТМ-1600/10 и резервированием по стороне 0,4 кВ.

По прочим цехам предприятия расчеты выполняем аналогичным образом. Результаты расчетов приведены в таблицу 4.

3.3 Расчет потерь активной и реактивной мощности в СТ

«Потери активной ΔP_T и реактивной ΔQ_T мощностей в трансформаторах определяются следующими формулами» [11, 12]:

$$\Delta Q_x = S_{\text{ном}} \cdot \frac{I_{\text{xx}}}{100}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_k = S_{\text{ном}} \cdot \frac{u_k}{100}; \quad (9)$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_x + \Delta Q_k. \quad (10)$$

$$\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{\text{ип}} \cdot Q_x; \quad (11)$$

$$\Delta P'_k = \Delta P_k + K_{\text{ип}} \cdot Q_k; \quad (12)$$

$$\Delta P_T = \Delta P'_x + \Delta P'_k. \quad (13)$$

где « $S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора;

I_{xx} - ток холостого хода;

u_k - напряжение КЗ» [11];

ΔQ_x - потери реактивной мощности в режиме ХХ;

ΔQ_k - потери реактивной мощности в режиме КЗ;

$K_{\text{ип}}$ - нормативный коэффициент участия реактивной мощности в потерях активной мощности.

Результаты расчетов потерь в цеховых ТП сведем в таблицу 5.

Таблица 4 - Расчет числа и мощности цеховых трансформаторов

Наименование объектов	σ кВА/м ²	Категория по ПУЭ	$P_{p,nn}$ кВт	$Q_{p,nn}$ квар	$S_{p,nn}$ кВА	$P_{см,nn}$ кВт	Тип и Мощн Тр-ра	$K_{з,н}$	Н Шт.	$Q_{вн}$ квар	$Q_{ку}$ квар	$Q_{бк}$ квар	$Q_{рн}$ квар	Тип и Мощн КУ	K_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Главный корпус	0,15	II	15033	11163	18724	13869	Тм-1600	0,75	12	4316	6842	6750	4413	Ук-0,38-150нуз	0,74
Вспомогательный корпус; блок вентиляционных цехов	0,16	II	5981	5195	7922	4960	Тм-1600	0,75	4	4008	1187	1120	4075	Кку-0,38	0,75
Литейный цех; градирня; насосная станция	0,16	II	8956	4373	9966	5404	Тм-1600	0,75	6	2637	2594	2700	2561	Ук-0,38-нуз	0,7
Сборочный цех; компрессорная станция; заводоуправление	0,12	II	6686	4816	8240	5990	Тм-1600	0,75	6	2671	2145	1960	2856	Ук-0,38-300нуз	0,74
Кузнечный цех; локомотивное депо.	0,17	II	6668	3337	7456	5819	Тм-1600	0,75	6	2716	621	600	2737	Ук-0,38	0,75
Склад сжатых газов; склад ГСМ склад тарных химикатов; деревообраб. цех регенерации масла.	0,08	III	3484	1804	3923	3104	Тм-1600	0,9	3	1965	187	225	1927	Ук-0,38-75-нуз	0,89

Таблица 5 - Расчет потерь мощности в цеховых трансформаторах

Местоположение КТП	№№ КТП	Кол-во и тип тр- ов.	$S_{\text{ТН}}$ кВА	K_3	$\Delta P_{\text{ХХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ кВт	$I_{\text{ХХ}}$ %	$U_{\text{КЗ}}$ %	ΔP_{T} кВт	ΔQ_{T} квар
Главный корпус	1-12	14 ТМ- 1600/10	1600	0,74	3,3	18	1,3	5,5	16,6 199,2	108,8 1305
Вспомогательный корпус	13-16	4ТМ- 1600/10	1600	0,75	-	-	-	-	16,9 67,6	108,8 435,2
Литейный цех	17-22	6ТМ- 1600/10	1600	0,7	-	-	-	-	15,3 91,8	108,8 652,8
Сборочный цех	23-28	6ТМ- 1600/10	1600	0,74	-	-	-	-	16,6 99,6	108,8 652,8
Кузнечный цех	29-34	6ТМ- 1600/10	1600	0,75	-	-	-	-	16,9 101,4	108,8 652,8
Склад тарных химикатов	35-37	3ТМ- 1600/10	1600	0,89	-	-	-	-	22,1 66,3	108,8 326,4
Итого:	-	-	-	-	-	-	-	-	626	4025

3.4 Выбор рационального напряжения внутризаводского электроснабжения

При проектировании системы электроснабжения одновременно с решением вопроса о выборе схемы внутреннего электроснабжения решается задача выбора рационального напряжения внутризаводского питания.

Применение напряжения 35 кВ для системы внутризаводского электроснабжения в данном проекте явно нецелесообразно. Целесообразность его применения определяется возможностью создания, питающей и распределительной сетей на напряжение 35 кВ (сооружение ГПП) или сооружения подстанций глубокого ввода. Такой подход не может быть рационален с экономической точки зрения, т.к. согласно техническому заданию завод может получать электроэнергию на напряжении 110 или 220 кВ.

Система распределения электрической энергии по территории предприятия выполняется на 10 кВ.

«Так как на заводе большое количество приемников II-ой категории (более 80%), то для обеспечения бесперебойности электроснабжения предусматривается АВР на РУ-10 кВ ГПП и резервирование питания по кабельным перемычкам между секциями РП-0,4 кВ» [6] ТП для цехов № 1,2,4,5,6. Для трансформаторов, установленных в цехе №15, резервирование не предусмотрено, т.к. преобладают приемники электроэнергии III-ей категории. В остальных цехах и корпусах предприятия установлены РП-0,4 кВ.

При проектировании схемы внутреннего электроснабжения представляется целесообразным два варианта:

1. Питание всех электроприемников производится от РУ-10 кВ ГПП
2. Питание электроприемников производится от РУ-10 кВ ГПП, цехов №1 и 2 и других электроприемников от цеховых РП-1 и РП-2 на 10 кВ.

РП-1 установлен в литейном цехе. От него питаются ДСП, синхронные двигатели, установленные на насосной станции, и ТП, расположенные в цехах №5,6.

РП-2 установлен в помещении компрессорной станции. От него питаются компрессоры и ТП, расположенные в цехах №4,15.

3.5 Выбор кабельных линий распределительной сети 10 кВ

Выбор сечения кабельных линий проводится по нижеприведенной методике.

Производится выбор сечения кабеля по техническим условиям. Сечение кабеля выбирается по справочной литературе исходя из нагрева расчетным током I_p в нормальном режиме работы из условия:

$$K_1 K_2 I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (14)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий температуру среды. Принимаем $K_1=1$.

Расчетный ток при номинальном режиме работы определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H}; \quad (15)$$

$$S_p = \sqrt{(P_{p,HH} + P_{p,o} + \Delta P_T)^2 + (Q_{p,HH} + \Delta Q_T - Q_{\text{бк}})^2} \quad (16)$$

для двух трансформаторных подстанций:

$$I_{p,\text{макс}} = 2I_p; \quad (17)$$

Для одно трансформаторных подстанций:

$$I_{p,\max} = \frac{1,4S_{T,H}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (18)$$

если $I_{p,\max} > 2I_p$, то принимают $I_{p,\max} = 2I_p$.

Сечение каבלя проверяется по следующим техническим условиям:

- По условию нагрева в послеаварийном режиме работы по выражению $K_{пI_{доп}}K_1K_2 \geq I_{p,\max}$, где $K_{п}$ – допустимая перегрузка каבלя на время ликвидации аварии;
- По условию механической прочности;
- По условию коронирования кабелей принимается минимально допустимое стандартное значение в шкале сечений;
- По допустимой потере напряжения в нормальном ($\Delta U = 5\%$) и послеаварийном ($\Delta U_{доп,п/ав} = 10\%$) режимах работы из условий:

$$l_{доп} = l\Delta U_{1\%} \cdot \Delta U_{доп} \frac{I_{доп}}{I_p} \geq 1 \quad (19)$$

$$l_{доп} = l\Delta U_{1\%} \cdot U_{доп,п/ав} \frac{I_{доп,п/ав}}{I_{p,\max}} \geq 1 \quad (20)$$

где $l_{доп}, l_{доп,п/ав}$ – максимально допустимая длина линии при ее работе соответственно в нормальном и послеаварийном режимах;

« $l\Delta U_{1\%}$ - длина линии на 1% потери напряжения;

l – фактическая длина линии» [17];

$\Delta U_{доп}, \Delta U_{доп,п/ав}$ – допустимая потеря напряжения в линии соответственно в нормальном и послеаварийном режимах.

Потери напряжения в рабочем и послеаварийных режимах будут не более допустимых в том случае, если фактическая длина кабельной линии будет не более допустимой длины.

- Проверка кабелей по термической стойкости к токам короткого замыкания проводится после расчетов токов КЗ.

Если при проверке выбранное сечение не удовлетворяет предъявляемым к нему техническим требованиям, то выбираем на ступень большее стандартное сечение и проверяем по методике, указанной выше.

«Далее проводится выбор сечения кабеля по условиям экономической целесообразности. Определение экономически целесообразного сечения производится на основе технико-экономических расчетов в следующей последовательности:

- принимается несколько стандартных сечений: одно равное, а другие больше минимально допустимого сечения, найденного по техническим условиям;
- выбирается экономически целесообразное сечение кабеля по минимуму годовых приведенных затрат, которые определяются по формуле» [7]:

$$Z = E_n K + C_3, \quad (21)$$

Ущерб от перерывов электроснабжения в данном случае не учитываем, так как он не зависит от величины сечения.

Капиталовложения определяются по формуле:

$$K_{кл} = K_{уд} \cdot l. \quad (22)$$

«Стоимость расходов на содержание персонала и ремонт одинаковыми для всех сечений линии C_3 определяется как» [7]:

$$C_3 = C_n + C_a. \quad (23)$$

«Действительные ежегодные потери активной энергии в кабелях определяются по формуле» [8]:

$$\Delta \mathcal{E}_{a,r} = \Delta P_{\text{кл}} \cdot \tau, \quad (24)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \cdot 8760, \quad (25)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886, \text{ ч}$$

Стоимость потерь электроэнергии в кабеле определяется по выражению:

$$C_{\text{п}} = C_0 \cdot \Delta \mathcal{E}_{a,r}, \quad (26)$$

где C_0 – стоимость электроэнергии.

Стоимость амортизационных отчислений равна:

$$C_a = \varphi_a \cdot K, \quad (27)$$

где φ_a – коэффициент годовых амортизационных отчислений, принимаемый по справочной литературе.

«После определения приведенных затрат для каждого принятого стандартного сечения кабеля выбирается сечение с минимальными приведенными затратами, а также на ступень меньше и большее сечение и определяется с помощью полинома Ньютона величина экономически целесообразного нестандартного сечения по следующим формулам» [8]:

$$S_{\text{эц}} = \frac{S_1 + S_2}{2} - \frac{\Delta S'}{2\sigma}, \quad (28)$$

$$\sigma = \frac{3_2 \cdot \Delta S_1}{3_1 \cdot \Delta S_2} - 1, \quad (29)$$

$$\Delta S' = S_3 - S_1, \quad (30)$$

$$\Delta S_1 = S_2 - S_1, \quad (31)$$

$$\Delta S_2 = S_3 - S_2, \quad (32)$$

$$Z_1 = Z_2 - Z_1, \quad (33)$$

$$Z_2 = Z_3 - Z_2, \quad (34)$$

тогда по найденной величине нестандартного сечения выбираем выгоднейшее меньшее стандартное сечение $S_{эц}$ кабеля.

Для примера приведем расчет кабельных линий, питающих трансформаторные подстанции ТП-2, ТП-4(не включенные в рассматриваемые варианты), так как данные подстанции одно трансформаторные, то их питание от ГПП осуществляется магистральной линией.

Определяем сечение кабеля на участке линий ТП-4, ТП-2. Расчетная мощность всего цеха [13, 14]:

$$S_{рц} = \sqrt{(3209 + 2304 + 176)^2 + (11503 + 1031 + 895 - 10560)^2} = 16952 \text{ кВА.}$$

расчетная мощность, передаваемая по участку линии ТП-4 ТП-2

$$S_p = \frac{16952}{14} = 1210 \text{ кВА.}$$

«Выбираем сечение кабеля по техническим условиям. Расчетный ток при нормальном режиме работы равен» [8]:

$$I_p = \frac{1210}{\sqrt{3} \cdot 10} = 70 \text{ А,}$$

«расчетный ток при послеаварийном режиме работы равен» [8]:

$$I_{p,\max} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129 \text{ A},$$

по условию нормального режима работы выбираем кабель марки АПвБВнг 3×50-10 сечением $S_n = 50 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 140 \text{ A}$; $\Delta U_{1\%} = 0,66 \text{ км} / 1\%$; $l = 0,13 \text{ км}$.

«Для проверки сечения по условию послеаварийного режима работы принимаем время ликвидации аварии 1 час и коэффициент загрузки линии в нормальном режиме» [8]

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}}; \quad (35)$$

$$K_3 = \frac{70}{140} = 0,5 .$$

Проверяем сечение по условию нагрева:

В нормальном рабочем режиме

$$1 \times 0,78 \times 140 \text{ A} \geq 70 \text{ A};$$

$$109 \text{ A} \geq 70 \text{ A};$$

в послеаварийном режиме:

$$1,3 \times 1 \times 0,78 \times 140 \text{ A} \geq 129 \text{ A};$$

$$142 \text{ A} \geq 129 \text{ A};$$

таким образом, принятое сечение 50 мм^2 проходит проверку в нормальном и послеаварийном режиме работы.

По условию механической прочности для кабелей при $U_n = 10 \text{ кВ}$, $S_m = 16 \text{ мм}^2$.

По условию коронирования кабелей принимаем минимально допустимое сечение $S_k=16\text{мм}^2$.

«Проверяем сечение по допустимой потере напряжения:

В нормальном рабочем режиме» [8]:

$$l_{\text{доп}} = 0,66 \cdot 5 \cdot \frac{140}{70} = 6,6 \text{ км} > l = 0,13 \text{ км};$$

в послеаварийном режиме

$$l_{\text{доп,п/ав}} = 0,66 \cdot 10 \cdot \frac{142}{129} = 7,3 \text{ км} > l = 0,13 \text{ км}$$

Выбранный кабель прошел проверку по потере напряжения.

По техническим условиям принимаем кабель марки АПвБВнг3×150-10.

Производим выбор сечения кабеля по условиям экономической целесообразности. Для нахождения $S_{\text{эц}}$ наметим для рассмотрения минимально возможное по техническим условиям сечение и несколько больших стандартных сечений кабеля: 50,70,95,120мм², а затем определим их технико-экономические показатели.

Рассмотрим кабель сечением $S_n=50\text{мм}^2$ марки АПвБВнг3×50-10 с $I_{\text{доп}}=140\text{А}$, $r_{\text{уд}}=0,62 \text{ Ом/км}$, $x_{\text{уд}}=0,09$, $K_{\text{уд}} = 68,7\text{тыс. руб./км}$, $\varphi_a=0,03$.

Потери мощности в кабельной линии:

$$\Delta P_{\text{кл}}=3 \cdot 70^2 \cdot 0,62 \cdot 0,13 \cdot 10^{-3}=1,2 \text{ кВт.}$$

Потери энергии в линии

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{а,г}}=1,2 \cdot 2886=3463 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Стоимость потерь энергии в линии

$$C_{\text{п}}=104 \cdot 3463 \cdot 10^{-2}=360 \text{ руб/год.}$$

«Капитальные вложения на сооружение кабельной линии» [8]

$$K = 68,7 \times 0,13 = 8,9 \text{ тыс. руб.}$$

«Ежегодные амортизационные отчисления» [8]:

$$C_{\text{а}}=0,03 \cdot 8,9 \cdot 10^3=267 \text{ руб/год.}$$

Годовые эксплуатационные расходы:

$$C_{\text{э}}=360+267=627 \text{ руб/год.}$$

Приведенные затраты равны:

$$З=0,125 \cdot 267 \cdot 10^3+627=3400 \text{ руб/год.}$$

Аналогичные расчеты производятся для других выбранных сечений, результаты заносятся в таблицу 6.

Таблица 6 - Выбор экономически целесообразного сечения участка ТП-4-ТП-2

Сечение мм ²	$\Delta P_{\text{кл}}$ кВт	$\Delta \mathcal{E}_{\text{а,г}}$	$C_{\text{п}}$ Руб/год	K	$C_{\text{а}}$	$C_{\text{э}}$	З
50	1,2	3463	53	0,3	8,9	60,9	97
70	0,8	2309	34,6	0,34	10,2	44,8	86,5
95	0,6	1732	25,3	0,39	11,7	37,7	83,8
120	0,5	1443	21,7	0,44	13,1	34,7	86,8

Определим величину целесообразного нестандартного сечения. Для этого выбираем одно сечение с минимальными затратами и два других на ступень меньше и на ступень больше.

Принимаем ближайшее меньшее стандартное сечение $S_n=95\text{мм}^2$. окончательно принимается к установке кабель АПвБВнг3×95-10.

Определяем сечения кабеля на участке ТП2-ГПП.

Выбираем сечение кабеля по техническим условиям:

По нагреву расчетным током:

$$I_p = \frac{2364}{\sqrt{3} \cdot 10} = 140\text{А} ,$$

$$I_{p,\text{max}} = \frac{1,4 \cdot 3200}{\sqrt{3} \cdot 10} = 258\text{А}.$$

по условию нормального режима работы выбираем кабель марки АПвБВнг3×150-10 сечением $S_n=150\text{мм}^2$ с $I_{\text{доп}}=275\text{А}$.

«Для проверки сечения по условию послеаварийного режима работы, принимаем время ликвидации аварии 1 час.

Коэффициент загрузки в нормальном режиме составит» [8]:

$$K_3 = \frac{140}{275} = 0,5.$$

допустимая перегрузка составит $K_n=1,3$. коэффициент снижения токовой нагрузки принимается равным 0,78, тогда

$$0,78 \cdot 275\text{А} \geq 172\text{А}$$

$$215\text{А} \geq 172\text{А};$$

$$1,3 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 275\text{А} > 258\text{А};$$

$$279\text{А} > 258\text{А};$$

по условию механической прочности $S_M=16\text{мм}^2$

По условию коронирования $S_K=16\text{мм}^2$

По допустимой потере напряжения:

В нормальном рабочем режиме:

$$I_{\text{доп}} = 1,01 \cdot 5 \cdot \frac{215}{140} = 7,75 \text{ км} \quad I_{\phi} = 0,15 \text{ км};$$

послеаварийном режиме:

$$I_{\text{доп,п/ав}} = 1,01 \cdot 10 \cdot \frac{279}{258} = 1,1 \text{ км} \quad I_{\phi} = 0,15 \text{ км}$$

по техническим условиям принимаем кабель марки АПвБВнг3×150-10.

выбираем сечение кабеля по условиям экономической целесообразности.

Для нахождения $S_{\text{эц}}$ намечаются сечения: 150,185,240мм².

Рассматриваем кабель сечением $S_n=150\text{мм}^2$ марки АПвБВнг:

$$r_{\text{уд}}=0,206\text{Ом/км}, \quad x_{\text{уд}}=0,077 \text{ Ом/км}; \quad \varphi_a=0,03;$$

потери активной мощности в кабельной линии:

$$\Delta P_{\text{кл}} = 3 \times 140^2 \times 0,15 \times 0,206 = 1,8 \text{ кВт},$$

потери энергии в линии:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{а,г}}=1,8 \cdot 2886=5195 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

стоимость потерь энергии:

$$C_{\text{п}}=0,06 \cdot 5195=78 \text{ руб/год}.$$

«Капитальные вложения на сооружение кабельной линии» [8]:

$$K = 3,83 \times 0,15 = 0,57 \text{ тыс.руб.}$$

«Ежегодные амортизационные отчисления» [8]

$$C_a = 0,03 \cdot 0,57 \cdot 10^3 = 17,1 \text{ руб/год.}$$

Годовые эксплуатационные расходы:

$$C_э = 78 + 17,1 = 95,1 \text{ руб/год.}$$

Приведенные затраты:

$$Z = 0,125 \cdot 0,57 \cdot 10^3 + 95,1 = 163,5 \text{ руб/год.}$$

Аналогичные расчеты приводятся для других выбранных сечений, результаты заносим в таблицу 7.

Таблица 7 - Выбор экономически целесообразного сечения участка ТП-2-ГПП линии Л-40

Сечение жил мм ²	$\Delta P_{\text{кл}}$ кВт	$\Delta \mathcal{E}_a$	$C_{\text{п}}$	K	C_a	$C_э$	Z
150	1,8	5195	78	0,57	17,1	95,1	163,5
185	1,4	4040	60	0,66	19,6	79,6	158,8
240	1,1	3174	47,6	0,78	23,4	71	164,6

Принимаем стандартное сечение $S_{\text{н}} = 185 \text{ мм}^2$.

Окончательно принимается к установке кабель АПВБВнг3×185-10 с сечением жилы 185 мм^2 . потери реактивной мощности в кабельной линии:

$$\Delta Q_{\text{кл}} = 3 \cdot 140^2 \cdot 0,15 \cdot 0,079 = 0,7 \text{ квар.}$$

Аналогичные расчеты проводятся для других участков кабельных линий, питающих ТП, ДСП, СД.

3.6 Расчет токопровода. (II вариант схемы внутреннего электроснабжения)

Находим расчетный ток на одну цепь [15, 16]:

$$I_p = \frac{37103}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 1091, \text{ А ,}$$
$$I_{p,\text{max}} = 2182, \text{ А ,}$$

принимая к установке открытый токопровод коробчатого сечения из двух корытных профилей из сплава АД31Т1 с изоляторами ИШД-35

$$j = \sqrt{\frac{17,8}{43,3}} = 0,64, \text{ А / мм}^2$$

найдем сечение токопровода

$$S = \frac{1091}{0,64} = 1704 \text{ мм}^2.$$

принимая к установке токопровод сечением $S=2020 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}}=3500 \text{ А}$.

Проверим по допустимому нагреву:

$$3500 \text{ А} > 2182 \text{ А}.$$

Проверяем выбранное сечение по допустимой потере напряжения в рабочем режиме:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 1091 \cdot 1,2 \cdot (0,016 \cdot 0,85 + 0,178 \cdot 0,56) \cdot 100}{10000} = 1,15\% < 5\%$$

в послеаварийном:

$$\Delta U_{\text{п/ав}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2182 \cdot 0,45 \cdot 1,2 \cdot (0,016 \cdot 0,85 + 0,178 \cdot 0,56) \cdot 100}{10000} = 2,3\% < 10\%$$

Условия выполняются в обоих режимах.

Капитальные затраты определяются по формуле:

$$K = L(K_1 + 2K_2 S_{\text{п}}) 10^{-3}, \quad (36)$$

где L – длина токопровода;

K_1 – составляющая капитальных затрат, зависит от стоимости 1 км токопровода.

K_2 – составляющая капитальных затрат, зависит от стоимости 1 км токопровода различного сечения.

3.7 Технико-экономическое сравнение вариантов схем внутреннего электроснабжения

Минимальные годовые приведенные затраты для варианта I составят:

$$Z_1 = 438 \text{ тыс.руб/год,}$$

Для варианта II составят:

$$Z_2=681 \text{ тыс.руб/год.}$$

Произведем предварительный выбор выключателей РУ-10кВ по номинальному напряжению и номинальному току, для РП1, РП2.

Расчетный ток составит:

Для РП1

$$I_p = \frac{37103}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 1091, \text{ А ,}$$

$$I_{p,\max} = 2 \cdot 1091 = 2182, \text{ А .}$$

Для РП2

$$I_p = \frac{15974}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 470, \text{ А ,}$$

$$I_{p,\max} = 2 \cdot 470 = 940, \text{ А .}$$

При выборе выключателей должны соблюдаться условия:

$$U_H \geq U_p; \quad (37)$$

$$I_H \geq I_{p,\max} \quad (38)$$

где $I_{p,\max}$ – расчетное максимальное значение тока.

Согласно им, принимаем КРУ-СЭЩ-70 с выключателем типа ВВУ-СЭЩ: для РП1 вводные выключатели ВВУ-СЭЩ-3200-10 и секционные выключатели ВВУ-СЭЩ-1600-10; для РП2 вводные выключатели ВВУ-СЭЩ-1600-10 и секционные выключатели ВВУ-СЭЩ-630-10.

Число ячеек с выключателями на отходящих линиях: для I варианта составит 32 шт., для II варианта 31 шт.; секционных для I варианта 3 шт. вводных для II варианта – 4 шт. (вводные и секционные выключатели РУ-10кВ ГПП не учитываем).

Вывод: исходя из полученных значений, принимаем схему варианта I для внутреннего электроснабжения завода.

4 Система внешнего электроснабжения

4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

Выбор мощности трансформаторов ГПП зависит от следующих факторов:

- Величины расчетной нагрузки;
- Динамики нагрузки по годам;
- продолжительности использования максимума нагрузки;
- Характера графика нагрузки;
- Годовое число часов работы предприятия.

«Полная расчетная мощность на шинах РУ-10кВ ГПП, передаваемая через трансформаторы с учетом разновременности максимума нагрузки и компенсации реактивной мощности» [17]:

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

$$Q_p = (Q_{p,НН} + Q_{p,ВН} + \Delta Q_{кл}) \cdot K_{рм} + Q_{p,о} + Q_{тп} - Q_{бк} - Q_{сд} - Q_{бк}; \quad (40)$$

При $U_H = 110\text{кВ}$:

$$Q_{p,\Sigma} = (31897 + 7920 + 63) \cdot 0,95 + 3879 + 2788 - 25425 - 8000 - 4900 = 3755, \text{квар}$$

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{71403^2 + 3755^2} = 71501, \text{кВА}.$$

При $U_H = 220\text{кВ}$:

$$Q_{p,\Sigma} = (31897 + 7920 + 63) \cdot 0,95 + 3879 + 2788 - 25425 - 7500 - 4700 = 4255 \text{квар}$$

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{70682^2 + 4255^2} = 70808, \text{кВА}.$$

«Расчетная мощность трансформатора определяется по формуле» [17]:

$$S_T = \frac{S_{p,\Sigma}}{N \cdot K_{з,н}}, \quad (41)$$

где «N – число трансформаторов, т.к. на заводе преобладают приемники II категории, то предусматривается установка на ГПП двух трансформаторов» [17].

$K_{з,н}$ – нормативный коэффициент загрузки трансформатора, равный 0,7 для указанных категорий электроприемников.

Тогда:

Для $U_H=110$ кВ

$$S_T = \frac{71501}{2 \cdot 0,7} = 51072 \text{ кВА};$$

для $U_H=220$ кВ

$$S_T = \frac{70808}{2 \cdot 0,7} = 50577 \text{ кВА}.$$

Стандартное значение номинальной мощности трансформатора принимается 63000 кВА. В этом случае $K_з$ в нормальном и послеаварийных режимах примет следующие значения:

Для $U_H=110$ кВ

$$K_з = \frac{74148}{2 \cdot 63000} = 0,59;$$

$$K_{з,п/ав} = \frac{74148}{63000} = 1,18;$$

для $U_H=220$ кВ

$$K_3 = \frac{73400}{2 \cdot 63000} = 0,58;$$

$$K_{3,п/ав} = \frac{73400}{63000} = 1,16.$$

Выбираем для установки на ГПП предприятия 2 СТ типа ТРДЦН с номинальной мощностью 63000 кВА каждый.

4.2 Определение напряжения системы внешнего электроснабжения и выбор его схемы

Для того, чтобы наметить для рассмотрения возможные с технической точки зрения варианты напряжения питающей сети, определяется нестандартное рациональное напряжение по формуле Илларионова:

$$U_{рац} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P_{р,н}}}} \quad (42)$$

где l – длина питающих линий.

Согласно технического задания питание завода электроэнергией может осуществляться следующим образом:

- От районной ПС 220/110 кВ, находящейся в 10км от завода;
- Отпайкой от ВЛ 220кВ, проходящей в 1км от завода, поэтому определим $U_{рац}$ для этих вариантов.

Тогда

$$U_{\text{рац1}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{10} + \frac{2500}{69,446}}} = 108, \text{кВ} ,$$

$$U_{\text{рац2}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{1} + \frac{2500}{58,9}}} = 43, \text{кВ} .$$

Нестандартное напряжение округляется до ближайшего стандартного напряжения ($U_{\text{рац,ст1}}=110\text{кВ}$; $U_{\text{рац,ст2}}=35\text{кВ}$) и намечаются для рассмотрения три варианта:

- С напряжением на ступень меньше стандартного напряжения;
- С полученным стандартным напряжением;
- С напряжением на ступень больше полученного стандартного напряжения.

При $U_{\text{рац,ст1}}=110\text{кВ}$ принимаем к рассмотрению следующие напряжения:

$$U_1=35\text{кВ};$$

$$U_2=110\text{кВ};$$

$$U_3=220\text{кВ}.$$

В этом случае питание завода осуществляется от РПС 220/110кВ, поэтому напряжение 35кВ не рассматриваем.

При $U_{\text{рац,ст2}}=35\text{кВ}$ принимаем к рассмотрению следующие напряжения:

$$U_1=20\text{кВ};$$

$$U_2=35\text{кВ};$$

$$U_3=110\text{кВ}.$$

В этом случае питание завода осуществляется отпайкой от ВЛ-220кВ, т.е. этот вариант не требует рассмотрения.

При рассмотрении вариантов на напряжение 220кВ питание завода от районной ПС ($l=10\text{км}$) и питание завода отпайкой от ВЛ-220кВ ($l=1\text{км}$) очевидно, что наиболее экономичным будет последний вариант.

Исходя из вышеизложенного, принимаем к рассмотрению следующие варианты:

Вариант 1: электроснабжение завода осуществляется на напряжении 110кВ от районной ПС.

Вариант 2: электроснабжение завода осуществляется отпайкой от ВЛ-220кВ.

Рассмотрим вариант1. Так как ГПП предприятия является в данном случае тупиковой, то применение отделителей (выключателей) в ОРУ-110кВ ГПП не требуется.

Параметры ТРДЦН-63000/110:

$$S_{Т,н}=63000 \text{ кВА}; I_{xx} \% = 0,65; U_{кз} \% = 10,5; \Delta P_{xx} = 73 \text{ кВт}; \Delta P_{кз} = 260 \text{ кВт}.$$

«Потери активной и реактивной мощности» [18]:

$$\Delta P_{ГПП} = 2(73 + 0,59^2 \cdot 260) = 327 \text{ кВт} ,$$

$$\Delta Q_{ГПП} = 2 \cdot \frac{6300}{100} (0,65 + 10,5 \cdot 0,59^2) = 5424 \text{ квар} ,$$

$$S_{ГПП} = \sqrt{69446^2 + 19445^2} = 72116 \text{ кВА} .$$

«Питающие линии (L).

Две питающие линии воздушные выполняются сталеалюминевыми проводами марки АС длиной 10 км.

Выбираем сечение провода по техническим условиям.

Определим ток, протекающий по линиям:

В нормальном рабочем режиме» [10]:

$$I_p = \frac{S_{p,ГПП}}{2 \cdot \sqrt{3} U_n} , \quad (43)$$

$$I_p = \frac{72116}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 192 \text{ А} ,$$

в послеаварийном режиме

$$I_{p,\max} = \frac{S_{p,\text{ГПП}}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (44)$$
$$I_{p,\max} = \frac{72116}{\sqrt{3} \cdot 110} = 384 \text{ А},$$

по условиям допустимого нагрева для нормального режима

$$I_{\text{доп}} \geq I_p \quad (45)$$

Принимается сечение провода $S=95/16\text{мм}^2$ с $I_{\text{доп}}=330\text{А}$, т.е. $330\text{А} > 192\text{А}$.

«Проверяем выбранное сечение по условию нагрева в послеаварийном режиме работы с учетом допустимой 30% ее перегрузки» [10]

$$1,3I_{\text{доп}} \geq I_{p,\max}; \quad (46)$$
$$1,3 \cdot 330 = 429 \text{ А} > 384 \text{ А}$$

«по условию коронирования проводов принимается минимальное стандартное сечение в шкале сечений для $U_H=110\text{кВ}$ равно $S_k=70\text{мм}^2$

Минимальное допустимое стандартное сечение по механической прочности $\rho_m=70\text{мм}^2$.

По допустимой потере напряжения:

В нормальном рабочем режиме» [10]:

$$l_{\text{доп}} = 5,94 \cdot 5 \cdot \frac{330}{190} = 50,5; \text{ км} > l = 10 \text{ км};$$

в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{доп.п/ав}} = 5,94 \cdot 10 \cdot \frac{429}{380} = 67; \text{кМ} > l = 10 \text{кМ}.$$

Таким образом, минимально допустимым сечением линии по техническим условиям является $S_{\text{ст}}=95\text{мм}^2$.

Выбор сечения провода по условиям экономической целесообразности.

Рассмотрим сечение линии 95мм^2 ,

Капитальные затраты $K_3=2 \cdot 10 \cdot 8=160$ тыс.руб

Действительные потери в линии:

$$\Delta P_{\text{вл}}=2 \cdot 3 \cdot 190^2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,33=745 \text{ кВт}.$$

Потери электроэнергии определяются:

$$\Delta \mathcal{E}_a=745 \cdot 2886=2150070 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

Стоимость ежегодных потерь в линиях:

$$C_{\text{п,вл}}=60 \cdot 10^{-2} \cdot 2150070=32,3 \text{ тыс.руб/год}.$$

«Стоимость амортизационных отчислений»:

$$C_{\text{а,вл}} = 0,028 \times 160 = 4,48 \text{ тыс.руб / год}.$$

«Ежегодные эксплуатационные расходы»:

$$C_{\text{э,вл}} = 32,3 + 4,48 = 36,78 \text{ тыс.руб / год}.$$

«Годовые расчетные затраты»:

$$Z_{\text{вл}} = 0,125 \times 160 + 36,78 = 56 \text{ тыс, руб / год.}$$

Технико-экономические показатели питающих ВЛ марки АС сводим в таблицу 8.

Таблица 8 - Технико-экономические показатели питающих ВЛ марки АС

№ ВЛ	S мм ²	K _{уд}	r ₀ Ом/км	ΔЭ _{а,вл}	ΔP _{вл}	C _{п,вл}	K _{вл}	C _{а,вл}	C _{э,вл}	З
1	95	8	0,33	2150070	745	32,3	160	4,48	36,78	56
2	150	8,35	0,27	1757574	609	26,4	167	4,68	31,08	51
3	120	8,6	0,21	1367964	474	20,5	172	4,52	25,3	46
4	185	9	0,2	1171313	406	17,5	180	5	22,5	44,1
5	240	9,8	0,13	845598	293	12,7	192	5,4	18,1	41,1
6	300	10,3	0,11	715728	218	10,7	206	5,8	16,5	41,4

Определим экономическое нестандартное сечение:

$$S_1 = 185 \text{ мм}^2; \Delta S = 240 - 185 = 55 \text{ мм}^2;$$

$$S_2 = 240 \text{ мм}^2; \Delta S = 300 - 240 = 60 \text{ мм}^2;$$

$$S_3 = 300 \text{ мм}^2; \Delta S = 300 - 185 = 115 \text{ мм}^2;$$

$$\Delta Z_1 = 41,1 - 44,1 = -3 \text{ тыс.руб/год};$$

$$\Delta Z_2 = 41,4 - 41,1 = 0,3 \text{ тыс.руб/год};$$

$$\delta = \frac{0,3 \cdot 55}{-3 \cdot 60} - 1 = 1,1;$$

$$S_{\text{эц}} = \frac{240 + 185}{2} + \frac{115}{2,2} = 254; \text{ мм}^2.$$

таким образом стандартное сечение равно 240 мм²

«Тогда полная расчетная мощность завода с учетом потерь в линии»

[3]:

$$S_{\text{р,з-да}} = \sqrt{68971^2 + 19311^2} = 71623 \text{ кВА.}$$

Выключатели (Q).

Предварительно выбираются головные выключатели по номинальным данным ($U_n \geq U_{н,уст}; I_{н,дл} \geq I_{р,мах}; S_{н,отк} \geq S_{р,отк}$).

Максимальный рабочий ток:

$$I_{р,мах} = \frac{71623}{\sqrt{3} \cdot 110} = 376, \text{ А} ,$$

расчетная отключающая мощность известна:

$$S_{р,отк} = S_{кз} = 3000 \text{ МВА.}$$

Отключающий ток:

$$I_{р,отк} = \frac{S_{кз}}{\sqrt{3} U_{ср}} , \quad (47)$$

$$I_{р,отк} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 15,3 \text{ кА} .$$

Исходя из расчетных данных выбираем два выключателя ВГТ-110.

Ежегодные потери активной электроэнергии определяются по:

$$\Delta \mathcal{E}_{а,гпп} = 2(73 \cdot 8760 + 0,59^2 \cdot 260 \cdot 2886) = 1801361 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Стоимость ежегодных потерь в трансформаторах ГПП:

$$C_{п} = 60 \cdot 10^{-2} \cdot 1801361 = 27,02 \text{ тыс. руб/год.}$$

Стоимость годовых амортизационных отчислений на трансформаторы ГПП:

$$C_{a,t}=0,063 \cdot 177=11,2 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные амортизационные отчисления на ОРУ-110кВ и трансформаторы ГПП определяются по формуле:

$$C_{a,гпп}=11,2+0,03+0,01+0,059+0,07=11,31 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные эксплуатационные расходы:

$$C_{э,гпп}=C_{a,гпп}+C_{п,t}, \quad (48)$$

$$C_{э,гпп}=11,3+27,02=38,33 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные капитальные затраты:

$$K_{гпп}=117+0,46+0,2+0,94+0,012=178,6 \text{ тыс.руб.}$$

Технико-экономические показатели варианта 1.

Капитальные затраты определяются по формуле:

$$K_1=K_{вл}+K_{гпп}+K_в, \quad (49)$$

$$K_1=192+178,6+13=383,6 \text{ тыс.руб.}$$

Стоимость годовых амортизационных отчислений:

$$C_{a,в}=\varphi_a \cdot K_в, \quad (50)$$

$$C_{a,в} = 0,063 \cdot 13 = 0,8 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные годовые амортизационные отчисления составят:

$$C_{a,1}=C_{a,вл}+C_{a,гпп}+C_{a,в}, \quad (51)$$

$$C_{a,1}=5,4+11,31+0,8=17,61 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные расходы:

$$C_{э,1}=C_{a,1}+C_{п,вл}+C_{п,тр}, \quad (52)$$

$$C_{э,1}=17,1+27,02=57,23 \text{ тыс.руб/год.}$$

Годовые расчетные затраты определяются по:

$$З_1=0,125 \cdot 383,6+57,23=105,2 \text{ тыс.руб/год.}$$

Рассмотрим вариант 2. Питание завода осуществляется на напряжении 220кВ отпайкой от ВЛ-220кВ.

Параметры ТРДЦН-63000/220

$$S_{Т,н}=63000 \text{ кВА; } I_{xx}\%=4; u_{кз}\%=12; \Delta P_{xx}=137 \text{ кВт; } \Delta P_{кз}=345 \text{ кВт.}$$

«Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах» [19]:

$$\Delta P_{гмп}=2(137+0,58^2 \cdot 345)=506 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q_{гмп}=2(63000/100) \cdot (4+0,58^2 \cdot 12)=10126 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность с учетом потерь в трансформаторах:

$$S_{p,гмп} = \sqrt{68904^2 + 19293^2} = 71554 \text{ кВА .}$$

«Питающие линии (W).

Питающие воздушные линии выполняются сталеалюминевыми проводами марки АС длиной 1км.

Выбираем сечение провода по техническим условиям.

Определим ток, протекающий по линиям» [11]:

$$I_p = \frac{S_{p,гпп}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 220}, \quad (53)$$

$$I_p = \frac{71554}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 220} = 96, \text{А},$$

$$I_{p,макс} = \frac{71554}{\sqrt{3} \cdot 220} = 192, \text{А}.$$

По условиям допустимого нагрева для нормального режима принимаем минимально возможное сечение провода:

$S_n=240\text{мм}^2$ с $I_{доп}=610, \text{А}$ тогда:

В нормальном рабочем режиме:

$$610\text{А} > 96\text{А}$$

в послеаварийном режиме:

$$1,3 \cdot 610 = 793\text{А} > 192\text{А}$$

По условиям коронирования: $S_k=240\text{мм}^2$

По допустимой потере напряжения:

$$l_{доп} = 17,5 \cdot 5 \cdot \frac{610}{96} = 556, \text{км} > l = 1\text{км};$$

$$l_{доп,п/ав} = 17,5 \cdot 10 \cdot \frac{793}{192} = 722, \text{км} > l = 1\text{км}.$$

Следовательно, по техническим условиям выбираем сечение 240мм^2 .

Выбираем сечение провода по условиям экономической целесообразности.

Принимаем к рассмотрению следующие сечения: $240, 300, 400\text{мм}^2$.

Рассмотрим сечение 240мм^2 .

Капитальные затраты на линию:

$$K_B = 2 \cdot 1 \cdot 12,6 = 25,2 \text{ тыс.руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$C_{a,вл} = 0,028 \cdot 25,2 = 0,76 \text{ тыс.руб.}$$

Потери активной мощности:

$$\Delta P_{вл} = 3 \cdot 2 \cdot 96^2 \cdot 0,13 = 7 \text{ кВт.}$$

Годовые потери электроэнергии в линиях:

$$\Delta \mathcal{E}_{a,вл} = 7 \cdot 2886 = 20202 \text{ кВт.ч/год.}$$

Стоимость годовых потерь:

$$C_{п,вл} = 60 \cdot 10^{-2} \cdot 20202 = 0,3 \text{ тыс.руб/год.}$$

Стоимость годовых эксплуатационных расходов:

$$C_{э,вл} = 0,76 + 0,3 = 1,06 \text{ тыс.руб/год.}$$

Годовые расчетные затраты на линии:

$$Z_{вл} = 0,125 \cdot 25,2 + 1,06 = 4,05 \text{ тыс.руб/год.}$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 9.

Таблица 9 - Техничко-экономические показатели питающих воздушных линий марки АС (вариант 2)

№ вар	Сечения мм ²	K _{уд}	r _{уд}	ΔP _{вл}	ΔЭ	C _{п,вл}	K _{вл}	C _{а,вл}	C _{э,вл}	Z _{вл}
1	240	12,6	0,13	7,13	20202	0,3	25,2	0,76	1,06	4,05
2	300	13,4	0,11	6	17316	0,26	26,8	0,8	1,06	4,2
3	400	14,7	0,08	4,4	12698	0,19	29,4	0,88	1,07	4,6

Как видно из расчетов, зависимость Z от S не имеет минимума, а носит возрастающий характер. Поэтому окончательно принимаем сечение, выбранное по техническим условиям, т.е. S=240мм².

Тогда полная расчетная мощность завода:

$$S_{p,n} = \sqrt{689901^2 + 19292^2} = 71550 \text{ кВА};$$

Суммарные капитальные затраты на ОРУ-220кВ и трансформаторы ГПП:

$$K_{гпп} = 260,8 + 3,02 + 0,68 + 0,46 + 2,06 + 0,2 = 267,22 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные годовые амортизационные отчисления

$$C_{а,г} = 16,4 + 0,22 + 0,046 + 0,035 + 0,13 + 0,01 = 16,844 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные эксплуатационные расходы:

$$C_{э,гпп} = 16,84 + 46,05 = 62,9 \text{ тыс.руб/год.}$$

Суммарные капитальные затраты ВЛ:

$$K_{вл} = 25,2 + 0,1 + 3,02 = 28,32 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные годовые амортизационные отчисления на вл:

$$C_{a,вл}=0,76+0,1+0,2=1,06.$$

Суммарные эксплуатационные расходы на ВЛ:

$$C_э=1,06+0,3=1,36.$$

Технико-экономические показатели варианта 2.

Суммарные капитальные затраты:

$$K_2=K_{вл}+K_{гпп}, \quad (54)$$
$$K_2=28,22+267,22=292,44.$$

Суммарные годовые амортизационные отчисления:

$$C_a=C_{a,вл}+C_{a,гпп}, \quad (55)$$
$$C_a=1,06+16,84=17,82.$$

Суммарные эксплуатационные расходы:

$$C_э=1,28+62,89=64,17.$$

Годовые расчетные затраты:

$$З_2=0,125 \cdot 292,44 + 64,17 = 101,1.$$

Вывод: данные расчета показывают, что вариант 2 экономичнее, т.е. электроснабжение завода осуществляется на напряжении 220кВ с отпайкой от ВЛ – 220кВ, проходящей в 1км от станкостроительного завода.

5 Расчет токов короткого замыкания. Выбор электрооборудования

5.1 Расчет токов короткого замыкания

В качестве расчетных принимаем следующие точки КЗ:

К-1- для выбора электрооборудования на отходящих от ВЛ-220кВ линиях;

К-2 – для выбора оборудования на стороне 220кВ;

К-6, К-3 – для выбора электрооборудования на стороне 10кВ;

К-4,К-5,К-7,К-8 – для проверки сечения кабельных линий, питающие цеховые ТП,СД,ДСП.

Расчеты ведем в относительных единицах, за базисные величины принимаем: $S_6=100$ МВА; $U_{61}=U_{cp1}=230$ кВ; $U_{62}=U_{cp2}=10$ кВ.

Базисный ток определяется по формуле [20]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (56)$$

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,25 \text{ кА};$$

$$I_{62} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Определим параметры схемы замещения.

Сопrotивление системы определяется по формуле:

$$x_{c*} = \frac{S_6}{S_{кз}}, \quad (57)$$

$$x_{c*} = \frac{100}{6000} = 0,017.$$

Сопrotивление ВЛ-220кВ марки АС-240/32 длиной 1км, $r_0=0,37\text{Ом/км}$;
 $x_0=0,435\text{Ом/км}$, определяется по формулам:

$$x_* = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (58)$$

где x_0 - удельное индуктивное сопротивление;

l - длина линии;

$$x_* = 0,424 \cdot 1 \cdot \frac{100}{230^2} = 0,0008;$$

$$r_* = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (59)$$

$$r_* = 0,137 \cdot 1 \cdot \frac{100}{230^2} = 0,0003.$$

Сопrotивления трансформатора типа ТРДЦН-63000/220, определяется по формулам:

$$r_{T*} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot S_6}{S_{TH}}, \quad (60)$$

$$r_{T*} = \frac{0,345 \cdot 100}{63} = 0,54,$$

$$x_{3*} = \frac{U_{кн1-н2}}{100} \cdot \left(1 - \frac{K_p}{4}\right) \cdot \frac{S_6}{S_{TH}}, \quad (61)$$

$$x_{3*} = \frac{12}{100} \cdot \left(1 - \frac{3,5}{4}\right) \cdot \frac{100}{63} = 0,023,$$

$$x_{4*} = x_{5*} = \frac{U_{кн1-н2}}{100} \cdot \frac{K_p}{2} \cdot \frac{S_6}{S_{TH}}, \quad (62)$$

$$x_{4*} = x_{5*} = \frac{12}{100} \cdot \frac{3,5}{2} \cdot \frac{100}{63} = 0,33.$$

Сопrotивление кабельной линии марки АПвБВнг3×95-10 от КТП-4 до КТП-2 длиной $l=0,13$ км; $r_{уд}=0,326$ Ом/км; $x_{уд}=0,083$ Ом/км; и кабельной линии марки АПвБВнг3×185-10 от КТП-2 до ГПП длиной $l=0,15$ км; $r_{уд}=0,167$ Ом/км; $x_{уд}=0,077$ Ом/км; кабельной линии марки АПвБВнг3×50-10 от ГПП до СД длиной $l=0,45$ км; $r_{уд}=0,62$ Ом/км; $x_{уд}=0,09$ Ом/км; кабельной линии марки АПвБВнг3×240-10 от ГПП до СД длиной $l=0,4$ км; $r_{уд}=0,129$ Ом/км; $x_{уд}=0,075$ Ом/км; определяется по формуле:

$$x_6 = 0,09 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{10,5} = 0,38;$$

$$r_6 = 0,62 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{10,5} = 2,36;$$

$$x_7 = \frac{0,075}{2} \cdot \frac{0,4 \cdot 100}{10,5} = 0,14;$$

$$r_7 = \frac{0,129}{2} \cdot \frac{0,4 \cdot 100}{10,5} = 0,25;$$

$$x_8 = 0,083 \cdot 0,13 \cdot \frac{100}{10,5} + 0,077 \cdot 0,1 \cdot \frac{100}{10,5} = 0,21;$$

$$r_8 = 0,325 \cdot 0,13 \cdot \frac{100}{10,5} + 0,167 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5} = 0,63.$$

Рассмотрим КЗ в точке К-1.

$$X = x_{*\Sigma} = 0,017.$$

Определим сверхпереходной ток

$$I_{кз1} = \frac{I_{61}}{X_{1*\Sigma}} = I_{k-1}'' \quad (63)$$

$$I_{кз1} = \frac{0,25}{0,017} = 14,7.$$

Значение ударного тока:

$$i_{ук-1} = K_y \sqrt{2} \cdot I_{к-1}'' , \quad (64)$$

«где K_y – ударный коэффициент, определяемый по справочной литературе. При малых значениях активного сопротивления принимаем среднее значение $K_y=1,8$ » [11].

Тогда:

$$i_{ук-1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 14,7 = 37,3 \text{ кА} .$$

Определим мощность КЗ в точке К-1

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot I_{кз}'' \cdot U_{\delta} , \quad (65)$$

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot 14,7 \cdot 230 = 5849 \text{ МВА} .$$

Рассмотрим КЗ в точке К-2.

Результатирующие сопротивления определим по формуле:

$$X_{*\Sigma} = x_{*1} + x_{*2} , \quad (66)$$

$$X_{*\Sigma} = 0,017 + 0,0008 = 0,0178 ,$$

$$r_{*\Sigma} = r_{*} = 0,0003 .$$

Соотношение $0,0003 < (0,017/3)$ – активное сопротивление не учитываем.

Определим сверхпереходной ток:

$$I_{к3,2} = I_{к-2}'' = \frac{0,25}{0,0178} = 14 \text{ кА};$$

Значение ударного тока:

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 14 = 35,5 \text{ кА};$$

Ток КЗ в точке К2:

$$S_{к3,к-2} = \sqrt{3} \cdot 14 \cdot 230 = 5474 \text{ МВА}.$$

Рассмотрим КЗ в точке К-3.

Определим результирующее сопротивление до точки К-3.

$$X_{*3\Sigma} = X_{*2\Sigma} + X_{*3} + X_{*4}; \quad (67)$$

$$X_{*3\Sigma} = 0,0178 + 0,023 + 0,33 = 0,37;$$

$$r_{*\Sigma} = r_{*2\Sigma} + r_{*3}, \quad (68)$$

$$r_{*\Sigma} = 0,003 + 0,54 = 0,543.$$

Определим сверхпереходной ток энергосистемы по формуле:

$$I_{к3} = I_{к3}'' = \frac{I_0}{Z_{*\Sigma i}}, \quad (69)$$

$$I_{к3} = \frac{5,5}{\sqrt{0,543^2 + 0,32^2}} = 8,8 \text{ кА}.$$

Определим ударный ток от энергосистемы

$K_y = 1,05$ из соотношения $0,37/0,543 = 0,68$.

$$i_{y,кз} = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,8 = 13 \text{ кА};$$

определим мощность КЗ без учета подпитки от СД:

$$S_{кз3} = \sqrt{3} \cdot 8,8 \cdot 10,5 = 157 \text{ МВА},$$

«Определим ток и мощность КЗ в точке К-3 с учетом подпитки от присоединенных к шинам 10кВ ГПП синхронных двигателей.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ определяется по формуле» [12]:

$$I_{сд}'' = \frac{E_{0*}'' \cdot I_{сд,н}''}{x_d''}; \quad (70)$$

где $I_{сд,н}$ – номинальный ток двигателя;

x_d'' – сверхпереходное реактивное сопротивление;

E_{0*}'' - значение сверхпереходной ЭДС в начальный момент КЗ;

$$E_{0*}'' = \sqrt{\cos^2 \phi + (\sin \phi_H + x_d'')^2} \quad (71)$$

$$E_{0*}'' = \sqrt{0,9^2 + (0,43 + 0,143)^2} = 1,06;$$

$$I_{сд,н}'' = \frac{\sum P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi_H} \quad (72)$$

$$I_{сд,н}'' = \frac{13 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 540 \text{ А};$$

$$I_c'' = \frac{1,06 \cdot 0,54}{0,143} = 4 \text{ кА};$$

Значение ударного тока:

$$i_{y,сд} = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 5,9 \text{ кА};$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{кз,сд} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4 = 71,4 \text{ МВА};$$

Найдем значение ударного тока с учетом подпитки от синхронных двигателей:

$$i_{y,к-3} = i_{y,кз} + i_{y,сд}, \quad (73)$$

$$i_{y,к-3} = 13 + 5,9 = 18,9 \text{ кА}.$$

Определим ток КЗ с учетом подпитки от СД:

$$I_{к-3} = I_{кз3} + I_{сд}'' , \quad (74)$$

$$I_{к-3} = 8,8 + 4 = 12,8 \text{ кА};$$

Мощность в точке К-3 с учетом подпитки от СД

$$S_{к-3} = S_{кз3} + S_{кз,сд} , \quad (75)$$

$$S_{к-3} = 157 + 71,4 = 228,4 \text{ МВА}.$$

Рассмотрим КЗ в точке К-4.

Определим результирующее сопротивление до точки К-4:

$$X_{4\Sigma} = X_{*3\Sigma} + X_{*6}, \quad (76)$$

$$X_{4\Sigma} = 0,37 + 0,38 = 0,75;$$

$$r_{4\Sigma} = r_{*3\Sigma} + r_{*6}, \quad (77)$$

$$r_{4\Sigma} = 0,543 + 2,36 = 2,9.$$

Определим ток КЗ

$$I_{K-4} = \frac{5,5}{\sqrt{2,9^2 + 0,75^2}} = 1,83 \text{ кА};$$

Определим ударный ток:

$K_y = 1,03$ из соотношения $0,75/2,9 = 0,25$;

Тогда:

$$i_{y,K-4} = 1,03 \sqrt{2} \cdot 1,83 = 2,7 \text{ кА};$$

определим мощность КЗ:

$$S_{K3} = \sqrt{3} \cdot 1,83 \cdot 10,5 = 33 \text{ МВА};$$

Определим ток КЗ с учетом подпитки от СД:

$$I_{K4} = I_{K34} + I'_{сд}; \quad (78)$$
$$I_{K4} = 1,83 + 4 = 5,83 \text{ кА}.$$

Ударный ток в точке К-4 с учетом подпитки от СД:

$$i_{y,K-4} = i_{y,K4} + i_{y,сд}; \quad (79)$$
$$i_{y,K-4} = 2,7 + 5,9 = 8,6 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ с учетом подпитки от СД:

$$S_{K3-4} = 33 + 71,4 = 104,4 \text{ МВА};$$

Рассмотрим КЗ в точке К-5.

Определим результирующее сопротивление:

$$X_{*5\Sigma} = 0,37 + 0,14 = 0,51;$$

$$r_{*5\Sigma} = 0,543 + 0,25 = 0,79.$$

Определим сверхпереходный ток:

$$I_{k5} = \frac{5,5}{\sqrt{0,79^2 + 0,51^2}} = 5,9 \text{ кА}.$$

Определим ударный ток:

$$i_{y,k5} = 1,12 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,9 = 9,3 \text{ кА};$$

Определим мощность КЗ:

$$S_{k35} = \sqrt{3} \cdot 5,9 \cdot 10,5 = 105 \text{ МВА};$$

Значение сверхпереходного тока с подпиткой от СД:

$$I_{k-5} = I_{k35} + I_{сд}'' , \quad (80)$$

$$I_{k-5} = 5,9 + 4 = 9,9 \text{ кА}.$$

Ударный ток с учетом подпитки от СД:

$$i_{y,k-5} = i_{y,k5} + i_{y,сд} , \quad (81)$$

$$i_{y,k-5} = 9,3 + 5,9 = 15,2 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ с учетом подпитки от СД:

$$S_{к-5} = S_{к35} + S_{к3,сд}; \quad (82)$$

$$S_{к-5} = 105 + 71,5 = 176,5 \text{ МВА.}$$

Рассмотрим короткое замыкание в точке К-8.

Результирующее сопротивление:

$$X_{*6\Sigma} = 0,37;$$

$$r_{*6\Sigma} = 0,543.$$

Сверхпереходный ток:

$$I_{к6} = I_{к-3} = 8,8 \text{ кА.}$$

Ударный ток: $i_{ук-3} = I_{ук-6} = 13 \text{ кА.}$

Мощность КЗ: $S_{к33} = S_{к-6} = 157 \text{ МВА.}$

Рассмотрим короткое замыкание в точке К-7

Определим результирующее сопротивление:

$$X_{*7\Sigma} = X_{*6\Sigma} + X_{*8}; \quad (83)$$

$$X_{*7\Sigma} = 0,37 + 0,11 = 0,48;$$

$$r_{*7\Sigma} = r_{*6\Sigma} + r_{*8}; \quad (84)$$

$$r_{*7\Sigma} = 0,534 + 0,24 = 0,77.$$

Определим сверхпереходной ток:

$$I_{к7} = \frac{5,5}{\sqrt{1,17^2 + 0,58^2}} = 6,1 \text{ кА}$$

Определим ударный ток; $K_u = 1,04$ из соотношения $0,48/0,77 = 0,62$.

$$i_{y,k-7} = 1,04 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,1 = 8,9 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ:

$$S_{k3-7} = \sqrt{3} \cdot 6,1 \cdot 10,5 = 110,8 \text{ МВА}.$$

Рассмотрим КЗ в точке К-8.

Определим результирующие сопротивления:

$$X_{*8\Sigma} = X_{*7\Sigma} + X_{*8}; \quad (85)$$

$$X_{*8\Sigma} = 0,48 + 0,1 = 0,58;$$

$$r_{*8\Sigma} = r_{*7\Sigma} + r_{*8}. \quad (86)$$

$$r_{*8\Sigma} = 0,77 + 0,4 = 1,17.$$

Определим сверхпереходный ток:

$$I_{k3,k-8} = \frac{5,5}{\sqrt{1,17^2 + 0,58^2}} = 4,2 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{y,k-8} = 1,02 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,2 = 6,2 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ:

$$S_{k3,k-8} = \sqrt{3} \cdot 4,2 \cdot 10,5 = 75 \text{ МВА}.$$

Определим токи однофазного КЗ на землю в сети с напряжением 10кВ.

Величину емкостного тока замыкания определим по формуле:

$$I_{с,зам} = \frac{U_{л}}{350} \cdot (35l + l_b) \quad (87)$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение сети, кВ;

l_k – длина кабельных линий (электрически связанных), км;

l_b – длина воздушных линий (электрически связанных), км.

Тогда:

$$I_{с,зам} = (10/350)(35 \cdot 19,89 + 0) = 19,89 \text{ А.}$$

Согласно ПУЭ компенсация емкостного тока замыкания на землю при помощи дугогасящих аппаратов должна применяться в сетях напряжением 10кВ при токах замыкания на землю не более 20А, т.е. в данном случае она не требуется.

5.2 Выбор электрооборудования

5.2.1 Выбор электрооборудования на напряжении 220 кВ

Выбор разъединителей производят по номинальному напряжению и номинальному току, короткозамыкатели выбираются по номинальному напряжению.

Таким образом, чтобы выполнялись соотношения:

$$U_{н,а} \geq U_{н,у}, \quad (88)$$

$$I_{н,а} \geq I_{р,макс}. \quad (89)$$

Проверку производят:

На электродинамическую устойчивость

$$I_{н,дин} \geq I_{у,р}. \quad (90)$$

На термическую стойкость

$$I_{н,с}^2 \cdot t_{нтс} \geq I_{\infty\phi}^2 \cdot t_{\phi} = B_{к}. \quad (91)$$

Принимаем к установке разъединители РГП-2-220/1000.

5.2.2 Выбор электрооборудования РУ-10кВ ГПП

Результаты выбора выключателей заносим в таблицу 10.

Таблица 10 - Выбор и проверка выключателей 10кВ

Наименование оборудования	U _{н,а} кВ	I _{н,а} А	I _{н,дин} кА	S _{от.н} МВА	I _{от.н} кА	I ² t _н КА	U _{н,у} кВ	I _{р,маx} А	i _у кА	I'' А	S МВА	I ² t _н кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ввод РУ-10кВ ВВУ-СЭЩ- 10-3200-31,5	10	3200	80	350	31,5	3969	10	2089	18,9	12,8	288	18
Секционный выключатель ВВУ-СЭЩ- 10-1600-31,5	10	1600	80	350	31,5	3969	10	1544	18,9	12,8	288	18
Линии ГПП- КТП ВВУ- СЭЩ-10-630- 31,5	10	630	80	350	31,5	3969	10	157	8,9	6,1	110	18
Линии ГПП- ДСП ВВУ- СЭЩ-10-630- 31,5	10	630	80	350	31,5	3969	10	294	15,2	9,9	176	18
Линии ГПП- СД ВВУ- СЭЩ-10-630- 31,5	10	630	80	350	31,5	3969	10	33	8,6	5,83	104	18
Ввод РУ-10кВ ВВУ-СЭЩ- 10-3200-31,5	10	3200	80	350	31,5	3969	10	2549	13	8,8	157	18
Секционный выключатель ВВУ-СЭЩ- 10-1600-31,5	10	1600	80	350	31,5	3969	10	1274	13	8,8	157	18

«Все оборудование РУ-10кВ комплектное в ячейках КРУ, в том числе шины, изоляторы и т.д., кроме трансформаторов тока, рассчитано заводом изготовителем по вводным выключателям, поэтому расчет сборных шин и изоляторов не производится» [13].

По результатам представленного выше выбора принимаем к установке КРУ серии КРУ-СЭЦ-70.

5.2.3 Выбор трансформаторов тока в РУ-10кВ

На вводах РУ-10кВ ГПП устанавливаем ТТ в соответствии с расчетным током ТПШЛ-10-4000, класс точности 0,5.

На секционном выключателе для 1с шин устанавливаем ТТ: ТПШЛ-10-2000, класс точности 0,5.

Аналогично выбираются ТТ на отходящих линиях к КТП, СД, ДСП (таблица 11).

Таблица 11 - Выбор и проверка трансформаторов тока

Наименование электрооборудования	U _н кВ	I _н /I ₂ А	K _у √2I _н кА	(K _т I _{н1}) ²	Класс точ	U _н кВ	I _{р,макс} А	i _у кА	I ² _{∞тф}
На вводе РУ-10кВ ГПП ТПШЛ-10-4000	10	4000/5	564	58800	0,5/Д	10	3089	18,9	184
На секционном выкл ТПШЛ-10-4000	10	2000/5	282	14700	0,5/Д	10	1544	18,9	102
На линиях ГПП-КТП ТПП-10-400	10	400/5	96	972	0,5/Д	10	157	6,2	2,5
На линиях ГПП-СД ТПП-10-200	10	200/5	70,5	243	0,5/Д	10	66	5,83	4,1
ГПП-ДСП ТПП-10-600	10	600/5	69	1105	0,5/Д	10	588	9,9	12
На вводе РУ-10 ГПП 2сш ТПШЛ-10-3000	10	3000/5	223	33075	0,5/Д	10	2549	13	86
На секционном выкл 2сш ТПШЛ-10-2000	10	2000/5	282	14700	0,5/Д	10	1274	13	44

Вывод: принимается к установке трансформатор ТМ-63/10. На ГПП устанавливаем два трансформатора собственных нужд с АВР на стороне 0,4кВ – один рабочий один резервный.

6 Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии

6.1 Назначение и состав системы

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии предназначена для тарифных расчетов предприятий промышленности за электроэнергию, а также для тарифных расчетов по многоставочным по зонам тарифам.

Система может применяться также для технического учета электроэнергии в цехах промпредприятия, для межцехового учета.

В состав системы входят [21]:

- Информационно-вычислительное устройство;
- Цифропечатающее устройство;
- Регистрирующий прибор;
- Трехфазные счетчики активной и реактивной энергии с телеметрическими датчиками импульсов⁴
- Линии передач информации от счетчиков к ИВУ системы.

6.2 Функции, выполняемые системой

Информационно-вычислительное устройство системы производит обработку информации, получаемой от счетчиков, накапливает и хранит результаты вычислений.

Система обеспечивает диапазоны задания максимумов с дискретностью 30 минут.

Система обеспечивает визуальный контроль работы всех каналов учета.

Система обеспечивает запись регистрирующим прибором текущей совмещенной мощности с заданным временем усреднения.

Система обеспечивает коррекцию значения текущего времени.

6.3 Технические данные системы

Питание системы осуществляется от однофазной сети переменного тока промышленной частоты 50 Гц и напряжения 220 В.

Для сохранения работоспособности системы в случае перерыва в питании сети переменного тока предусмотрена возможность подключения напряжения одноименной фазы 220 В от резервной секции шин.

Система потребляет от сети не более 500 Вт.

Система работает в температурном диапазоне от плюс 10 до плюс 35⁰С при относительной влажности от 30 до 80%.

Расстояние от счетчиков до ИВУ не более 3км.

Наработка на отказ ИВУ системы не менее 2500ч.

Время заполнения всех разрядов регистра общего расхода энергии не менее 1 месяца при нагрузке трансформаторов тока 70% от номинальной.

Метрологические характеристики.

Систематическая составляющая относительной погрешности в определении величин, хранящихся в регистрах ИВУ, при счетчиках класса точности 1,0 не превышает 1,5%.

Случайная составляющая относительной погрешности в определении совмещенной мощности численно не превышает класса точности используемых счетчиков.

Погрешность записи текущей мощности не превышает 2% от предела измерения прибора.

Дополнительная погрешность от промышленных помех системы в целом не превышает 0,1% за время не менее 0,5 ч при нагрузке предприятия не ниже 20% от номинальной.

Вывод: рассмотрены функции автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии.

7 Расчет заземляющего устройства

Одним из видов защиты от прикосновения к токоведущим частям, оказавшимся под напряжением, является выравнивание потенциалов путем устройства контура заземления.

Расчет контурного заземления ГПП 220, 10 кВ проводится в следующей последовательности:

«Определяется сопротивление искусственного заземления с учетом использования естественных заземлителей, включенных параллельно с естественными по формуле» [5]:

$$R_{\text{и}} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3}; \quad (92)$$

где « $R_3 = 0,5$ Ом – сопротивление заземления со стороны 220 кВ, принимаются равными 0,5 Ом, т.к. согласно ПУЭ в электроустановках с большими точками замыкания на землю с сопротивлением заземляющих устройств должно быть не более 0,5 Ом» [5];

R_e – сопротивление заземлителя системы “трос-опора”, т.е. естественного заземлителя, которое определяется по формуле:

$$R_e = \frac{1}{2} \sqrt{r_{\text{оп}} \frac{r_{\text{тр}}}{n}}; \quad (93)$$

где $r_{\text{оп}} = 30$ Ом – активное сопротивление заземлителя одной опоры.

n – число тросов линии,

$r_{\text{тр}}$ – сопротивление троса по длине одного пролета, которое определяется по формуле:

$$r_{\text{тр}} = 0,15 \frac{\ell}{s}; \quad (94)$$

где s – сечение троса, мм²;

l – длина пролета, м.

Для троса С-50, сечением $s = 50$ мм² при длине пролета 200 м, активное сопротивление троса будет равно

$$r_{\text{ТР}} = 0,15 \frac{200}{50} = 0,6 \text{ Ом}$$

Тогда

$$R_e = \frac{1}{2} \sqrt{30 \cdot \frac{0,6}{2}} = 1,5 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{и}} = \frac{1,5 \cdot 0,5}{1,5 - 0,5} = 0,75 \text{ Ом}.$$

«Определяются расчетные удельные сопротивления для вертикальных и горизонтальных электродов по формуле

$$\rho_p = K_{\text{в(г)}} \rho_{\text{ГР}} \quad (95)$$

где $K_{\text{в}}=1,8$ – повышающий коэффициент для вертикальных стержневых электродов длиной 2-3 и при глубине их вершин 0,5-0,8 м, принимается согласно таблицы 12-2 [7];

$K_{\text{(г)}}= 4$, - повышающий коэффициент для горизонтальных протяженных электродов при глубине заложения 0,8 м, принимается согласно таблицы 12-2» [7];

$\rho_{\text{ГР}} = 100$ Ом·м – удельное сопротивление грунта в месте сооружения заземлителя, которое рекомендуется для предварительных расчетов по таблице 12-1 [7],

Тогда

$$\rho_{P,B} = 1,8 \cdot 100 = 180 \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

$$\rho_{P,\Gamma} = 4,5 \cdot 100 = 450 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Определяем сопротивление одного вертикального электрода (уголки №50) длиной $l=2,5$ м при погружении в землю на $0,7$ м по формуле

$$R_{B,O} = \frac{\rho_{P,B}}{2} \left(\ln \frac{2l}{\alpha} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (96)$$

где α - диаметр сечения электрода, который определяется по формуле

$$\alpha = 0.95b, \quad (97)$$

где $b=0,05$ м – ширина стороны уголка № 50,

t – глубина погружения середины длины электрода в землю
расстояние от поверхности земли до середины длины электрода
которая определяется по формуле

$$t = t_0 + 0.5l, \quad (98)$$

где $t_0=0.7$ м – глубина погружения электрода в землю- расстояние от
поверхности земли до электрода,

$l = 2,5$ м – длина электрода

Тогда

$$\alpha = 0.95 \cdot 0.05 = 0.0475 \text{ м},$$

$$t = 0.7 + 0.5 \cdot 2.5 = 1.95 \text{ м},$$

$$R_{B,O} = \frac{180}{2 \cdot 3.14} \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.0475} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5} \right) = 57.17 \text{ Ом}.$$

Определяется примерное число вертикальных заземлителей при предварительном коэффициенте использования $K_{и,в}$ по формуле

$$n = \frac{R_{в,о}}{K_{и,в} \cdot R_{и}}, \quad (99)$$

где $K_{и,в}=0.56$ – предварительный коэффициент использования.

$$\text{Тогда } n = \frac{57.17}{0.56 \cdot 0.75} \approx 136 \text{ шт.}$$

«Определяется сопротивление растеканию горизонтальных электродов (полосы 60x5 мм) приваренных к верхним концам уголков, по формуле» [7]

$$R_{г} = \frac{1}{K_{и,г}} \cdot \frac{R_{р,г}}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell^2}{в}, \quad (100)$$

где $K_{и,г}=0,24$ – коэффициент использования, принимается по таблице 12.7 [7].

$\ell = 500$ м – периметр контура;

$в = 0,06$ м – ширина электрода (полоса 60x5 мм).

$$\text{Тогда } R = \frac{1}{0.24} \cdot \frac{450}{2 \cdot 3.14 \cdot 500} \cdot \ln \frac{2 \cdot 500^2}{0.06 \cdot 0.7} = 8.57 \text{ Ом.}$$

Уточняется сопротивление вертикальных электродов по формуле

$$R_{в} = \frac{R_{г} \cdot R_{и}}{R_{г} - R_{и}}, \quad (101)$$

тогда

$$R_{в} = \frac{0,57 \cdot 0,75}{8,57 - 0,75} = 0,82 \text{ Ом.}$$

Уточняется число вертикальных электродов по формуле

$$n = \frac{R_{B,O}}{K_{И,В} \cdot R_B}, \quad (102)$$

где $K_{И,В}$ = коэффициент использования.

Тогда

$$n = \frac{57.17}{0.5 \cdot 0.82} = 134 \text{ шт};$$

Окончательно принимаем установку 134 уголка № 50.

Проверка на термическую стойкость полосы 60x5 мм осуществляется по формуле

$$R_{\min} = I_K^{(3)} \frac{\sqrt{t_\Phi}}{C} \leq F; \quad (103)$$

где $I_K^{(3)} = 14$ кА – значение тока 3х фазного КЗ на стороне 220 кВ;

$t_\Phi = 2,05$ с – фактическое время протекания тока КЗ;

$C = 74$ - постоянный коэффициент для стали;

$F = 300$ мм² – фактическое сечение полосы.

Тогда

$$F = 14 \cdot \frac{\sqrt{2.05}}{74} = 270 \text{ мм}^2 < F = 300 \text{ мм}^2,$$

Вывод: полоса 60x5 мм² удовлетворяет условию термической стойкости.

Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы была спроектирована система электроснабжения станкостроительного завода, которая позволит передавать потребителям предприятия электроэнергию нормированного качества и с заданными требованиями к надежности электроснабжения.

При выполнении работы были определены расчетные нагрузки по всем корпусам предприятия. Общая нагрузка предприятия составила 71 МВА. Выполнен расчет системы внутреннего освещения производственных корпусов и системы наружного освещения территории предприятия с использованием светодиодных светильников. Определены координаты центра электрических нагрузок по предприятию. Выбрано целесообразное напряжение внутрицеховых сетей 380/220 В. Произведен выбор числа, мощности цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств и определены потери активной и реактивной мощности в трансформаторах. Для системы внутризаводского электроснабжения выбрано напряжение 10 кВ как наиболее экономичное, позволяющее получить высокое качество электроэнергии, возможность роста электрических нагрузок. Распределительная сеть 10 кВ выполняется трехжильными кабелями марки АПвБВнг с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена с прокладкой их в траншеях. Выполнен расчет сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ. Выполнена технико-экономическое сравнение двух вариантов схем внутреннего электроснабжения. Приняты к установке КРУ-СЭЩ-70 с выключателями типа ВВУ-СЭЩ. Выбраны число и мощность трансформаторов ГПП. Определено напряжение системы внешнего электроснабжения и выбрана ее схема. Произведен расчет токов короткого замыкания, выбрано и проверено на устойчивость к токам КЗ электрооборудование на ГПП. Определены требования к автоматизированной системе контроля и учета электроэнергии. Выполнен расчет заземляющего устройства.

Список используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
2. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 17.12.2021).
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 18.03.2022).
5. Дайнеко В.А., Забелло Е.П., Прищепова Е.М. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2015. 333 с.
6. Данилов М.И. Романенко И.Г. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 05.02.2022).
7. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.
8. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. Саратов: Профобразование, 2017. 334 с.

9. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.
10. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд., Сибирское университетское издательство, 2013г.
11. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358-90 от 1 августа 1993 г.
12. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2015. 384 с.
13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 13.12.2021).
14. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. Стандарт организации. Дата введения: 13.09.2011. ОАО «ФСК ЕЭС». 2011.
15. Ушаков В.Я., Чубик П.С. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2015. 388 с.
16. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование : учебник, 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2018. 407 с.
17. Alatawneh N. Effects of cable insulations' physical and geometrical parameters on sheath transients and insulation losses // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №11, pp. 95-106.
18. Banerjee G. K. Electrical and electronics engineering materials. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 360 p.
19. Qiu L., Ouyang Y., Feng Y., Zhang X. Review on micro/nano phase change materials for solar thermal applications // Renewable Energy. 2019. №14,

pp. 513-538.

20. Sahdev S. K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015. 768 p.

21. Zhang Q., Tang W., Zaccour G., Zhang J. Should a manufacturer give up pricing power in a vertical information-sharing channel // European Journal of Operational Research. 2019. №276, pp. 910-928.