

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 Реконструкция системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна»

Студент

М.С. Павлычева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.С. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Бакалаврская работа (выпускная квалификационная работа) включает 3 иллюстрации, 51 страницу текста, 18 таблиц и 25 источников.

Ключевые термины: обновление, система электроснабжения, мощность, напряжение, электрический ток, нагрузка, провод, устройство, трансформатор, рабочий режим, характеристики.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является система электроснабжения промышленного предприятия АО «НПО Завод «Волна» и проектирование ее реконструкции.

Выпускная квалификационная работа имеет своей целью на основе актуальных данных о нагрузках производственных участков промышленного предприятия АО «НПО Завод «Волна» разработать проектный план системы электроснабжения путем ее реконструкции, основываясь на современных требованиях законодательства в области надежности, безопасности и энергоэффективности деятельности производства.

Вопросы выносимые на защиту ВКР: обоснование необходимости реконструкции системы электроснабжения и общая характеристика предприятия, расчет нагрузок для силовых установок и освещения, компенсация реактивной мощности, проектирование системы электроснабжения и определение токов короткого замыкания, выбор релейной защиты, автоматизации и электрооборудования, предъявляемых требованиям к проекту реконструкции системы электроснабжения требования по соблюдению законодательства.

Содержание

Введение.....	5
1 Теоретическая характеристика и обоснование необходимости реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна».....	7
1.1 Основные характеристики предприятия и потребителей электроэнергии.....	7
1.2 Доказательство потребности в проведении работ по реконструкции системы электроснабжения.....	9
2 Составление и разработка технического проекта для реконструкции системы электроснабжения предприятия	11
2.1 Проведение расчетов нагрузок, потребляемых на предприятии	11
без учета системы освещения.....	11
2.2 Подсчет осветительной нагрузки предприятия	15
2.3 Компенсация реактивной мощности на ТП 10/0,4 кВ и выбор трансформаторов ТП	16
2.4 Компенсация реактивной мощности на ГПП и выбор трансформаторов ГПП.....	19
2.5 Расчет схемы внутреннего электроснабжения.....	23
2.6 Расчет токов короткого замыкания	28
2.7 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей ГПП:.....	31
выключателей, разъединителей, ограничителей и трансформаторов	31
2.8 Расчет для выбора релейная защиты и автоматики.....	35

3 Законодательные требования, предъявляемые к проекту реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна».....	41
3.1 Соблюдение требований законодательства по охране труда	41
3.2 Расчет параметров системы заземления и молниезащиты предприятия	42
3.3 Соблюдение требований экологического законодательства при проведении работ по модернизации и реконструкции систем электроснабжения предприятия	47
Заключение	49
Список используемых источников.....	50

Введение

В системе электроснабжения предприятия применяются специфические требования к мощности необходимой для удовлетворения нужд различного оборудования и процессов, задействованных в производственной деятельности предприятия.

Требования, применяемые к данной системе, могут иметь различный характер, в связи с чем на определенном «жизненном» этапе предприятия необходима реконструкция системы электроснабжения промышленного предприятия.

Актуальность темы выпускной квалифицированной работы: тенденция роста, развития, а также поиска и применения альтернативных вариантов оборудования электроснабжения предприятий, либо ввода нового оборудования или реконструкцию существующих объектов электроснабжения. Экономическая целесообразность проведения работ, при проектировании или реконструкции, в соответствии с установленными категориями надежности и обеспечения требованиями ПУЭ.

Предметом и объектом исследования дипломной работы выступает АО «НПО Завод «Волна», его система энергоснабжения и ее реконструкция.

С учетом норм законодательства, касающегося охраны труда, надежности, эксплуатации и эффективности использования энергии, а также на основе актуальных данных о нагрузках производственных площадок, можно сформулировать основную цель данного проекта – проектирование и разработка реконструкции системы энергоснабжения акционерного общества «НПО Завод «Волна».

Для достижения целей выпускной квалификационной работы необходимо учитывать, что производство работ связанных с реконструкцией систем электроснабжения должны быть экономически оправданными, требующие минимальных финансовых вложений и при этом направлены на достижение максимального результата.

Достижение выше указанных целей возможно путем последовательного разрешения следующих задач:

- провести анализ теоретических характеристика предприятия и привести обоснование необходимости реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна»;
- составить и разработать технический проект для реконструкции системы электроснабжения предприятия;
- проанализировать законодательные требования по охране труда, предъявляемые к проекту;
- осуществить расчеты параметров системы заземления и молниезащиты предприятия;
- проверить соблюдение требований экологического законодательства при проведении работ по модернизации и реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна».

1 Теоретическая характеристика и обоснование необходимости реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна»

1.1 Основные характеристики предприятия и потребителей электроэнергии

Одним из ведущих производственных комплексов, специализирующихся на разработке и изготовлении техники для военных нужд Министерства обороны РФ и других силовых структур России, является АО «НПО Завод «Волна». Оно является частью оборонно-промышленного сектора Холдинговой компании «ЭГО-Холдинг и осуществляет производство коммуникационного оборудования. [2].

Информация о производственных участках, представленная в таблице 1, основана на технической документации данной организации.

Таблица 1 – Общая характеристика производственных участков предприятия

Производственный участок	Количество электрических проводников	Установленная мощность; кВт		cos ϕ	Ки
		ЭП; P _{ном}	$\sum P_{ном}$		
Производственный цех № 1	35	0,8 ... 62	888	0,87	0,93
Производственный цех № 2	40	0,5 ... 160	880	0,85	0,9
Сборочно-испытательный	35	0,8 ... 62	888	0,87	0,93
Цех окончательной сборки	56	0,8 ... 160	935,4	0,85	0,9
Отдел испытаний	12	0,1 ... 3,8	12	0,86	0,2
Ремонтно-механические мастерские	29	1,1 ... 10,2	31,5	0,8	0,35
Складские помещения	16	0,1 ... 4,2	16,2	0,86	0,2

Значения, представленные в таблице 1:

- P_{ном} – «установленная номинальная активная мощность электроприемников реконструируемого производственного участка, кВт»;

- $\sum P_{\text{ном}}$ – «суммарная установленная номинальная активная мощность электроприемников реконструируемого производственного участка, кВт»;
- $K_{\text{и}}$ – «среднесменный коэффициент использования активной мощности электроприемников производственного участка завода, кВт»;
- $\cos \varphi$ – «среднесменный коэффициент мощности электроприемников производственного участка завода, о.е.».

Энергосистема подстанции ПС 110/10 кВ расположена на расстоянии 2,4 км и осуществляет электроснабжение предприятия по двум вводам.

Два трансформатора ТДН-16000-110/10 кВ установлены на ПС 110/10 кВ [14].

Приложение 1 содержит генеральный план предприятия.

Таблица 2 включает в себя характеристики производственных участков предприятия.

Таблица 2 – Сводные характеристики производственных участков

Производственный участок	Категории надежности	Характеристики производственной среды
Производственный цех № 1	2	Пыльная
Производственный цех № 2	2	Пыльная
Сборочно-испытательный	2	Нормальная
Цех окончательной сборки	2	Нормальная
Отдел испытаний	3	Нормальная
Ремонтно-механические мастерские	2	Пыльная
Складские помещения	3	Пыльная

По радиальной схеме выполнено энергоснабжение потребителей.

«Питание маломощных потребителей 2-ой и 3-ей категорий, чья нагрузка меньше 250 кВА, осуществляется установкой там РП-0,4 кВ, подключенного к ближайшей ТП (для маломощных потребителей второй категории используются двухсекционные РП)» [14]. Линии напряжением

10 кВ, уложенные в траншеи, выполнены с использованием кабелей марок ААБ и АВВГ. ГПП находится за территорией предприятия и питает еще несколько предприятий и жилой микрорайон [1].

В приложении 2 изображена схема прокладки линий действующей системы электроснабжения.

1.2 Доказательство потребности в проведении работ по реконструкции системы электроснабжения

Обоснование необходимости реконструкции системы электроснабжения:

- устаревание кабелей и электрооборудования;
- степень износа оборудования и кабелей;
- обветшание оборудования релейной защиты и автоматики;
- использование неактуальных и не энергоэффективных трансформаторов;
- не соответствие мощности силовых трансформаторов потребностям цехов в актуальной нагрузке.

В качестве одной из задач выпускной квалификационной работы планируется произвести расчет проекта реконструкции, который может помочь в устранении вышеперечисленных недостатков, существующих на данный период времени.

Для этого необходимо:

- произвести выбор нового оборудования, которое будет отвечать всем современным требованиям: безопасности, надежности, эффективности и др.;
- перед выбором нового современного оборудования, необходимо провести математические расчеты для контуров заземления ГПП и КТПН 10/0,4 кВ в соответствии с требованиями ПУЭ [25];

- основываясь на актуальных нагрузках цехов определить какие, требуются новые силовые трансформаторы КТПН.

Таким образом, можно прийти к выводам, что АО «НПО Завод «Волна» основным видом деятельности является производство коммуникационного оборудования и реконструкции системы производства электроснабжения необходима, в связи с устареванием оборудования, а для этого необходимо провести подбор оборудования на основании требований ПУЭ и текущей нагрузки цехов.

Вывод по главе 1:

Таким образом, можно прийти к выводам, что АО «НПО Завод «Волна» основным видом деятельности является производство коммуникационного оборудования и реконструкции системы производства электроснабжения необходима, в связи с устареванием оборудования, а для этого необходимо провести подбор оборудования на основании требований ПУЭ и актуальной нагрузки цехов.

2 Составление и разработка технического проекта для реконструкции системы электроснабжения предприятия

2.1 Проведение расчетов нагрузок, потребляемых на предприятии без учета системы освещения

В качестве основного подхода для вычисления электрических нагрузок применяется метод коэффициента использования активной мощности [20]. Активная среднесменная мощности участка рассчитывается по формуле (1), имеющей следующий вид [14]:

$$P_{\text{ср}} = K_{\text{иа}} \times P_{\text{ном}} , \quad (1)$$

где $K_{\text{иа}}$ – коэффициент использования активной мощности для данного участка;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная активная мощность электроприемников участка, выражается в кВт.

По формуле (2) проводим расчет по участкам среднесменных реактивных мощностей:

$$Q_{\text{ср}} = P_{\text{ср}} \times \text{tg} \varphi \quad (2)$$

По формуле (3) рассчитывается по участкам полные среднесменные мощности:

$$S_{\text{ср}} = \sqrt{P_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{ср}}^2} , \text{кВА} \quad (3)$$

Активные мощности по участкам вычисляются по формуле (4) [24]:

$$P_p = K_p \times P_{cp}, \quad (4)$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки для данного участка.

Реактивные мощности участков определяются путем расчетов, при соблюдении условий (5) и (6):

$$n_э \leq 10, Q_p = 1,1 \times Q_{cp}, \quad (5)$$

$$n_э > 10, Q_p = 1 \times Q_{cp}, \quad (6)$$

где $n_э$ – эффективное число электроприемников – шт.

$$\frac{(\sum P_H)^2}{\sum P_H^2} \quad (7)$$

$m > 3$ и $K_H \geq 0,2$ – это соотношение максимальной мощности к минимальной электроприемника. По выражению определяется эффективное число электроприемников:

$$n_э = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{Hmax}}, \quad (8)$$

где n – фактическое число потребителей на участке - шт.

P_H – Суммарная активная мощность потребителей на участке –кВт.

При проведении расчета и получении результата $n_э > n$, принимается $n_э = n$.

На примере производственного цеха №1 по имеющимся формулам проведем расчет нагрузок:

$$\cos \varphi = 0,87; \operatorname{tg} \varphi = 0,57$$

$$m = \frac{62}{0,8} = 77,5$$

Среднесменная мощность рассчитывается следующим образом:

$$P_{\text{ср}} = 0,93 \times 888 = 825,84,$$

$$Q_{\text{ср}} = 825,84 \times 0,57 = 470,7,$$

$$S_{\text{ср}} = \sqrt{825,84^2 + 470,7^2} = 950,5.$$

В таблица 3 сводим данные, полученные в ходе расчётов аналогичным образом.

Таблица 3 – Определение актуальных нагрузок на производственные участки предприятия.

Производственный участок	Количество электрических проводников	Установленная мощность; кВт		cosφ	Ки	Среднесменные мощности		
		эл; P _{ном}	∑ P _{ном}			P _{ср} кВт	Q _{ср} квар	S _{ср} кВА
Производственный цех № 1	35	0,8 ... 62	888	0,87	0,9 3	825,8 4	470,7	950,5
Производственный цех № 2	40	0,5 ... 160	880	0,85	0,9	792	491	931
Сборочно-испытательный	35	0,8 ... 62	888	0,87	0,9 3	825,8 4	470,7	950,5
Цех окончательной сборки	56	0,8 ... 160	935,4	0,85	0,9	841,8	521,9	990,4
Отдел испытаний	12	0,1 ... 3,8	12	0,86	0,2	2,4	1,41	2,78
Ремонтно-механические мастерские	29	1,1 ... 10,2	31,5	0,8	0,3 5	11	8,26	13,75
Складские помещения	16	0,1 ... 4,2	16,2	0,86	0,2	3,24	1,91	3,76

По формуле определяем эффективное число потребителей:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \times 888}{62} = 28$$

Исходя из справочных материалов определяем коэффициент расчетной нагрузки для $n_{\text{э}} = 28$ и $K_{\text{и}} = 0,93$, $K_{\text{р}} = 1,03$ [24, 20].

Исходя из уравнений проводим, расчет мощностей участков, полученные данные заносим в таблицу 4.

$$P_{\text{р}} = 825,84 \times 1,03 = 850,6,$$

$$Q_{\text{р}} = 470,7 \times 1 = 470,7,$$

$$S_{\text{р}} = \sqrt{850,6^2 + 470,7^2} = 972,1.$$

Таблица 4 – Определение расчетных мощностей потребителей

Производственный участок	$n_{\text{э}}$	$K_{\text{р}}$	Среднесменные мощности		
			$P_{\text{р}}$ кВт	$Q_{\text{р}}$ квар	$S_{\text{р}}$ кВА
Производственный цех № 1	28	1,03	850,6	470,7	972,1
Производственный цех № 2	11	1,03	815,76	491	952,1
Сборочно-испытательный	28	1,03	850,6	470,7	972,1
Цех окончательной сборки	11	1,03	867	521,9	1011
Отдел испытаний	0,6	2,24	5,3	1,41	5,48
Ремонтно-механические мастерские	6	1,76	19,36	8,26	21
Складские помещения	7	1,99	6,44	1,91	6,71
Σ			3415	1965	2968,31

Указанные в таблице данные о расчете мощностей, проведены по аналогичным параметрам по выбору трансформаторов и устройств компенсации, производим по приведенной выше методики, и будут необходимы для дальнейшего использования при проведении расчетов иных показателей.

2.2 Подсчет осветительной нагрузки предприятия

Используя метод удельной мощности, проводим расчет нагрузки освещения.

Расчет производится по формуле активных мощностей по участкам:

$$P_{po} = P_o \times K_{co} \times F, \quad (9)$$

где P_o – удельная мощность, выражается в Вт/м²;

K_{co} – в качестве постоянного коэффициента потребления освещения, берем значение, указанное в пункте 3.166 СН 357–77 [18, 23];

F – площадь помещения, в котором производится расчет, м².

Выражение, используемое для определения реактивной мощности, имеет следующий вид:

$$Q_{po} = P_o \times \operatorname{tg} \varphi \quad (10)$$

Светодиодные светильники используются в качестве приборов освещения на предприятии.

Для всех остальных участков расчеты проводятся по аналогии с участком №1 и полученные данные занесем в таблица 5.

$$P_{po} = 3,6 \times 1 \times 38,3 = 137,88 \text{ кВт},$$

$$Q_{po} = 137,88 \times 0,57 = 78,59 \text{ квар},$$

$$P_p = 850,6 + 137,88 = 988,48 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 78,59 + 470,7 = 549,29 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{988,48^2 + 549,29^2} = 1130 \text{ кВА}.$$

Таблица 5 – Расчетных мощностей производственных участков с учетом освещения

Производственный участок	F м ²	P _o Вт/м ²	K _{co}	P _{po} кВт	P _p (P _p + P _{po}) кВт	Q _p (Q _p + Q _{po}) квар	S _p кВА
Производственный цех № 1	38,3	3,6	1	137,8	988,48	549,29	1130
Производственный цех № 2	73,9	3,6	0,95	266	1081	655,92	1264
Сборочно-испытательный	34,8	3,6	1	125,3	975,88	542,21	1100
Цех окончательной сборки	87,5	3,6	0,95	299,3	1166,25	707,46	1364
Отдел испытаний	83,2	2,2	0,6	109,8	115,1	66,19	132,7
Ремонтно-механические мастерские	185	3,8	0,85	597,5	616,86	456,38	767,3
Складские помещения	83,2	2,2	0,6	109,8	116,24	66,69	134
Σ					5059,81	3044,14	5892

Занесенные в таблицу данные о расчете мощностей производственных участков с учетом освещения, проведены по аналогичным параметрам и будут необходимы для дальнейшего использования при проведении расчетов иных показателей.

2.3 Компенсация реактивной мощности на ТП 10/0,4 кВ и выбор трансформаторов ТП

По нагрузке производственных участков по ТП 10/0,4 кВ и минимальной длине проводящих линий распределительной сети проводим группировку для оптимального выбора трансформаторов [24].

Выбор установок РП 0,4 кВ, одно- или двухсекционных, которые будут запитываться от другого ТП на ближайшем участке, будет наиболее рациональным решением, так как наша расчетная нагрузка достигает всего лишь 250 кВА [5; 22].

«На ТП устанавливаются два силовых трансформатора, согласно ПУЭ, для потребителей 1 и 2 категории надежности [12].»

Используется специальная формула (11) для определения оптимальной мощности данных трансформаторов:

$$S_0 = \frac{\sum S_p}{\beta \times N}, \quad (11)$$

где $\sum S_p$ - сумма рассчитанных показателей полной мощности ТП, выражается в кВА;

β - коэффициент загрузки трансформаторов, для двух трансформаторных ТП равен 0,7 [12; 21];

N - количество силовых трансформаторов, выражается в шт.

Допустимая к передаче в сеть 0,4 кВ величина реактивной мощности, рассчитывается по выражению [20, 25]:

$$Q_1 = \sqrt{(N \times \beta \times S_{\text{нм}})^2 - P_p^2}, \quad (12)$$

где $S_{\text{нм}}$ - номинальная мощность трансформатора; кВА;

P_p - расчетная активная мощность нагрузки ТП; кВт.

По формуле (13) проводится расчет со стороны 0,4 кВ компенсация РМ:

$$Q_{0,4} = Q_p - Q_1, \quad (13)$$

где Q_p - реактивная мощность нагрузки ТП, выражается в квар.

Q_{0A} - если при расчетах полученное значение является отрицательным либо равным менее 50 квар, то для данного участка компенсация не требуется [15].

При выборе установок КРМ остаточное значение для РМ исчисляется по определению:

$$Q_{\text{нн}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{БК}} \quad (14)$$

В качестве иллюстрации примера компенсации расчета реактивной мощности ТП 10/0,4 кВ и выбора трансформаторов ТП-1 рассмотрим участок №1. Аналогичным образом проводим вычисления остальных участков и полученные результаты заносим в таблица 6.

$$S_o = \frac{1130}{0,7 \times 2}$$

Таблица 6 – Расчет нагрузок для выбора трансформаторов ТП

Нагрузка по № участка	№ участка	S_p кВА	S_o кВА	Номинальная мощность трансформаторов кВА
1	№ 1	1130	807,14	1000
2	№ 2	1264	902,85	1000
3	№ 3	1100	785,71	1000
4	№ 4	1364	974,28	1000
5, 6, 7	№ 5	1034	738,57	1000

$$Q_1 = \sqrt{(2 \times 0,7 \times 1000)^2 - 850,6^2} = 1111,97 \text{ квар,}$$

$$Q_{0,4} = 470,7 - 1111,97 = -641,27 \text{ квар}$$

Исходя из полученных данных приходим к выводу, что КРМ не требуется.

В режиме нормальной работы проведем расчет показателей коэффициента по формуле (15):

$$K_3 = \frac{S_{\text{р.ком}}}{S_{\text{н.м}} \times N} \quad (15)$$

$$K_3 = \frac{1130}{1000 \times 2} = 0,56$$

Коэффициент аварийной перегрузки рассчитывается по формуле (16) [19]:

$$K_n = \frac{S_{p.kom}}{S_{н.м}}, \quad (16)$$

$$K_3 = \frac{1130}{1000} = 1,13 \leq 1,4$$

Допускается перегрузка равная 40 % [12], однако исходя из расчетов перегрузка отсутствует.

Аналогично приведенному примеру расчетов КРМ проводи расчет для остальных участков, полученные значения переносим в таблица 7.

Таблица 7 – Расчет КРМ на ТП 10/0,4 кВ

Q _{0,4} квар	Q _{бк} квар	K _п
-641,27	0	1,13
-646,77	0	1,26
-641,27	0	1,1
-577,1	0	1,36
-1387,42	0	1,03

Исходя из проведенных расчетов, мы принимаем решение о выборе подстанций серии 2КТПН-ПК 10/0,4.

2.4 Компенсация реактивной мощности на ГПП и выбор трансформаторов ГПП

Выбор установки ГПП осуществляется на основе расчетов общей нагрузки потребителей трансформаторной подстанции, которая составляет 5892 кВА. В качестве оборудования было выбрано ТДН-6300/110.

ТП 10/0,4 кВ для дальнейших расчетов необходимо учитывать потери.

«Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах рассчитывается согласно выражению (17)» [17; 18]:

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P_k}{n} \times \frac{P_p^2 + Q_p^2}{S_n^2} + n \times \Delta P_{xx}, \quad (17)$$

где ΔP_k – потери КЗ для конкретной марки трансформатора, кВт;

n - число трансформаторов, шт.;

S_n^2 - номинальная мощность трансформатора, кВА;

ΔP_{xx} - показатель потерь для данной марки трансформатора, кВт.

$$\Delta Q_m = \frac{U_k}{n \times 100} \times \frac{P_p^2 + Q_p^2}{S_n^2} + \frac{n \times I_{xx}}{100} \times S_n, \quad (18)$$

где U_k - напряжение при КЗ для выбранной марки трансформатора %;

I_{xx} - ток трансформатора - %.

В качестве примера применения формул проведем расчет ТП-1.

По аналогии с ТП-1 проведем остальные расчеты и полученные значения перенесем в таблица 8.

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= \frac{10,5}{2} \times \frac{850,6^2 + 470,7^2}{1000^2} + \\ &+ 2 \times 1,1 = 7 \text{ кВт}, \\ \Delta Q_m &= \frac{5,5}{2 \times 100} \times \frac{850,6^2 + 470,7^2}{1000^2} + \\ &+ \frac{2 \times 0,6}{100} \times 1000 = 37,1 \text{ квар} \end{aligned}$$

Таблица 8 – Потери мощности на ТП 10/0,4 кВ

№ ТП	P_p кВт	Q_p квар	ΔP_m	ΔQ_m	$P_p + \Delta P_m$ кВт	$\Delta Q_m + Q_p$ квар
ТП 1	850,6	470,7	7	37,1	857,6	508
ТП 2	815,76	491	6,9	28,8	822,66	519,8
ТП 3	850,6	470,7	7	37,1	857,6	508
ТП 4	867	521,9	7,42	30	874,42	551,9
ТП 5	31,1	11,58	0,01	10	31,11	21,58
Σ	3415	1965,88	28,3	143	3443,39	2109,28

На стороне 10 кВ проводится расчет реактивной нагрузки ГПП:

$$Q_6 = \Sigma Q_{HH} + \Sigma \Delta Q_m, \quad (19)$$

где ΣQ_{HH} – сумма реактивных нагрузок для всех ТП – квар;

$\Sigma \Delta Q_m$ - сумма потерь РМ в трансформаторах ТП – квар.

$$Q_6 = 2108,88 \text{ квар}$$

Активная нагрузка ГПП на стороне 10 кВ рассчитывается по выражению:

$$P_{\text{сумм}} = \Sigma P_p + \Sigma \Delta P_m, \quad (20)$$

$$P_{\text{сумм}} = 3443,3 \text{ квар},$$

$$tg \varphi = \frac{Q_6}{P_{\text{сумм}}}, \quad (21)$$

$$tg \varphi = 0,61.$$

Компенсация РМ на стороне каждой шины рассчитывается по уравнению:

$$\frac{Q_{\text{ку}}}{2} = \frac{Q_6 + \Delta Q_m - Q_{\text{сист}} - Q_c}{2}, \quad (22)$$

где 2 – количество шин – шт.;

$Q_{\text{сист}}$ – РМ, принимаемый из энергосистемы, выражается в квар;

Q_c – РМ – от синхронных двигателей, если имеются – квар;

ΔQ_m - в силовых трансформаторах ГПП предварительные потери РМ – квар.

$$\Delta Q_m = 113,55 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{сист}} = \alpha \times \sum P_p, \quad (23)$$

$$\alpha = \text{tg} \varphi = 0,33,$$

$$\frac{Q_{\text{ку}}}{2} = \frac{2108,88 + 113,55 - 1126,95}{2} = 547,74 \text{ квар}.$$

На основании расчетов приходим к выводу, что на каждую шину 10 кВ ГПП необходимо установить батарею УКМ-58-0,4-550-50-У1, мощностью 550 квар.

Проведем расчет итоговой нагрузки ГПП:

$$Q_{\text{рк}} = 2347,3 \text{ квар},$$

$$P_{\text{рк}} = P_{\text{сумм}} = 3443,3 \text{ квар}.$$

С учетом разновременности рассчитываем полную нагрузку ГПП (24):

$$S_p = \sqrt{(k_{\text{рта}} \times P_{\text{рк}})^2 + (k_{\text{ртр}} \times Q_{\text{рк}})^2}, \quad (24)$$

где $k_{\text{рта}}$ и $k_{\text{ртр}}$ - коэффициенты разновременности максимумов реактивных и активных нагрузок; для шин ГПП предприятий с внешним электроснабжением принимаются равными 0,95 [5; 15].

$$S_p = \sqrt{(0,9 \times 3443,3)^2 + (0,9 \times 2347,3)^2} = 3750,5 \text{ кВА}$$

По формуле находим коэффициент аварийной перегрузки:

$$K_n = \frac{3750,5}{6300} = 0,595$$

В аварийном режиме допускается перегрузка равная 40 %, на данном предприятии она отсутствует [12; 14].

Произведем вычисления итоговых потерь мощностей ГПП:

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= \frac{44}{2} \times \frac{3415^2 + 1965,88^2}{6300^2} + \\ &+ 2 \times 11,5 = 30,48 \text{ кВт}, \\ \Delta Q_m &= \frac{10,5}{2 \times 100} \times \frac{3415^2 + 1965,88^2}{6300^2} + \\ &+ \frac{2 \times 0,9}{100} \times 6300 = 225,8 \text{ квар}. \end{aligned}$$

Итоговая мощность предприятия будет равна:

$$S_p = \sqrt{(30,48 + 3415)^2 + (225,8 + 1965,88)^2} = 4083,47 \text{ кВА}$$

2.5 Расчет схемы внутреннего электроснабжения

По радиальной схеме на данный момент времени выполнена общая схема электроснабжения предприятия, как показано в приложении 2. Так как все правила и требования к распределительной сети соблюдены, то общая схема остается неизменной. На основании этого в качестве модернизации действующей сети можно произвести замену кабельного оборудования на более современное с учетом потребляемых нагрузок. «Кабельные линии на 10 кВ выполняются кабелем АПвП и на 0,38 кВ кабелем АПвБбШп. Кабели прокладываются в траншеях под землей» [17] (Приложение 3).

От линии ГПП до ТП-1 проведем расчет, в качестве примера обоснования выбора.

Согласно выражению (25), рассчитывается наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H \times n}, \quad (25)$$

где S_p – расчетная мощность участка, кВА;

n – число цепей линии – шт.

$$I_p = \frac{1130}{\sqrt{3} \times 10 \times 2} = 32,6 \text{ А},$$

$$I_{ав} = \frac{1130}{\sqrt{3} \times 10} = 65,24 \text{ А}.$$

Экономическое сечение жил рассчитывается по формуле (26):

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} \quad (26)$$

где $j_{эк}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

$$F_{эк} = \frac{32,6}{1,4} = 23,28 \text{ мм}^2$$

После проведения необходимых расчетов был выбран кабель АПвП-3×25. Проведенные вычисления показали, что время прокладки до 6 кабелей не должно превышать 76,5 А, что превышает допустимое значение аварийного тока - 56,63 А.

Следовательно, можно сделать вывод, что выбранный кабель соответствует требованиям. В таблице 9 представлены рассчитанные данные для всех других ТП и соответствующие кабели были выбраны на основе этих показателей.

Таблица 9 – Расчет линий распределительной сети и выбор кабеля 10 кВ.

КЛ до	S_p кВА	$I_{ав}$ А	$F_{эк}$ мм ²	$F_{ст}$ мм ²	$I''_{доп}$ А
ТП 1	1130	65,24	23,28	25	76,5
ТП 2	1264	72,97	26	30	76,5
ТП 3	1100	63,5	22,6	25	76,5
ТП 4	1364	75,75	28,12	30	76,5

Потери напряжения в линии определяются по формуле (27):

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \times I_p \times L \times 100}{U_H} (r_0 \times \cos \varphi + x_0 \times \sin \varphi), \quad (27)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

L – длина линии, км;

r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления кабелей, Ом/км;

$\cos \varphi$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки.

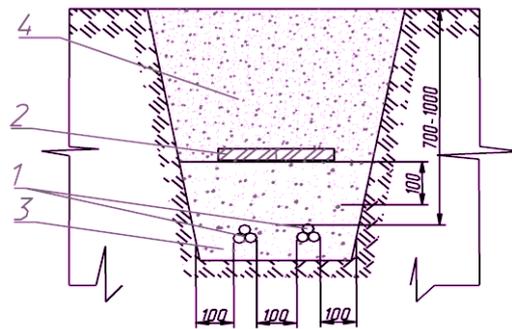
«Согласно ПУЭ, потери напряжения не должны превышать 5 %, потери меньше допустимых 5 %» [12].

Полученные расчетным путем данные потерь перенесем в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчет потерь напряжения в линиях напряжением 10 кВ.

КЛ до	r_0 Ом/км	x_0 Ом/км	L	$\Delta U_{л}$ %
ТП 1	1,24	0,1	0,021	0,011
ТП 2	1,24	0,1	0,020	0,005
ТП 3	1,24	0,1	0,120	0,030
ТП 4	1,24	0,1	0,079	0,020

На рисунке 1 изображено устройство кабельной траншеи распределительной сети 10 кВ.



*Прокладка кабелей 10 кВ в траншее.
расстояние между кабельными линиями
при параллельной прокладке в земле.
1 - кабели 10 кВ; 2 - железобетонные плиты
перекрытия или кирпичи; 3 - песчано-гравийная
смесь или рыхлый грунт; 4 - засыпной грунт*

Рисунок 1 – Устройство кабельной траншеи распределительной сети 10 кВ.

Кабель 0,38 кВ выбираем на основании проведенных расчетов. Согласно требованиям технического задания, необходимо обеспечить индивидуальное отключение электроприемников для ремонтных и обслуживающих работ [14].

Существующая система распределительной сети полностью соответствует требованиям и оптимальна для использования, поэтому ее не требуется изменять.

Планируемая прокладка новых кабелей будет производиться по существующим маршрутам. Использование радиальной схемы обеспечивает высокую надежность системы электроснабжения и точную отстройку автоматических выключателей для селективного срабатывания [15, 12].

От ТП-4 до РП-5 проведем расчет выбора кабельного оборудования, в качестве примера. Токи КЛ определяются по формуле:

$$I_p = \frac{15,1}{\sqrt{3} \times 0,38} = 21,8 \text{ A}$$

Выбираем провод марки АВВГнг-LS-4×10 мм² на основании вычислений для данного участка, для каждого кабеля допустимый ток равен 75 А, с учетом прокладки кабелей и поправочного коэффициента, равном 1 [8].

Для участков РП-5 до РП-7 и РП-7 до РП-6 расчет и выбор производится по аналогии и полученные значения переносятся в таблице 11.

Таблица 11 – Кабели 0,38 кВ.

КЛ 0,38	№	S _{рп} кВА	I _р А	Марка кабеля	I _{доп} А	K _{попр}	I* _{доп} А	I _{ав} А
ТП-4 до РП-5	1	15,1	21,8	АПвБбШп4×10	75	1	75	21,8
РП-5 до РП-7	1	8,15	11,77	АПвБбШп4×10	75	1	75	11,77
РП-7 до РП-6	1	39,13	56,48	АПвБбШп4×10	75	1	75	56,48

Потери напряжения линии ТП-4 до РП-5 вычисляется следующим образом:

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \times 21,8 \times 0,061 \times 100}{380} (3,1 \times 0,9) = 1,69 \%$$

Для остальных двух участков проводим расчет по аналогии и данные полученные в ходе вычислений заносим в таблица 12.

Таблица 12 – Расчет потерь напряжения в КЛ 0,38 кВ

КЛ до	r ₀ Ом/км	L	ΔU _л %
ТП-4 до РП-5	3,1	0,061	1,69
РП-5 до РП-7	3,1	0,030	0,44
РП-7 до РП-6	3,1	0,021	1,5

Полученные в ходе вычислений результаты потерь не превышают допустимые ПУЭ – 5% [12].

В приложении 3 показана план схема прокладки кабельной линии после проведенной реконструкции.

2.6 Расчет токов короткого замыкания

«В местах установки электрооборудования для его проверки необходимо провести расчет токов короткого замыкания. В соответствии с выбранными к установке кабелями и исходными схемами электроснабжения составляется эквивалентная схема замещения. В схему замещения вносятся только те элементы, которые влияют на конечную величину токов КЗ» [13].

По формуле (27) находится полное сопротивление эквивалентной схемы замещения электрической сети:

$$z = \sqrt{(\sum \circ r)^2 + (\sum \circ x)^2}, \quad (27)$$

где $\sum \circ r$ - эквивалентное активное сопротивление цепи, Ом;

$\sum \circ x$ - эквивалентное индуктивное сопротивление цепи, Ом.

Активное сопротивление силовых трансформаторов:

$$R_T = \Delta P_K \times \frac{U_{H.B}^2}{(S_H^2 \times 1000)}, \quad (28)$$

где ΔP_K – потери мощности КЗ трансформатора, кВт;

$U_{H.B}^2$ – номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора, кВ;

S_H^2 – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Полное сопротивление силовых трансформаторов рассчитывается по формуле (29):

$$Z_r = \frac{\Delta U_k}{100 \times 10^2 / S_H}, \quad (29)$$

где ΔU_k – % потерь напряжения при КЗ.

На рисунке 2 представлена схема эквивалентного замещения электрической сети.

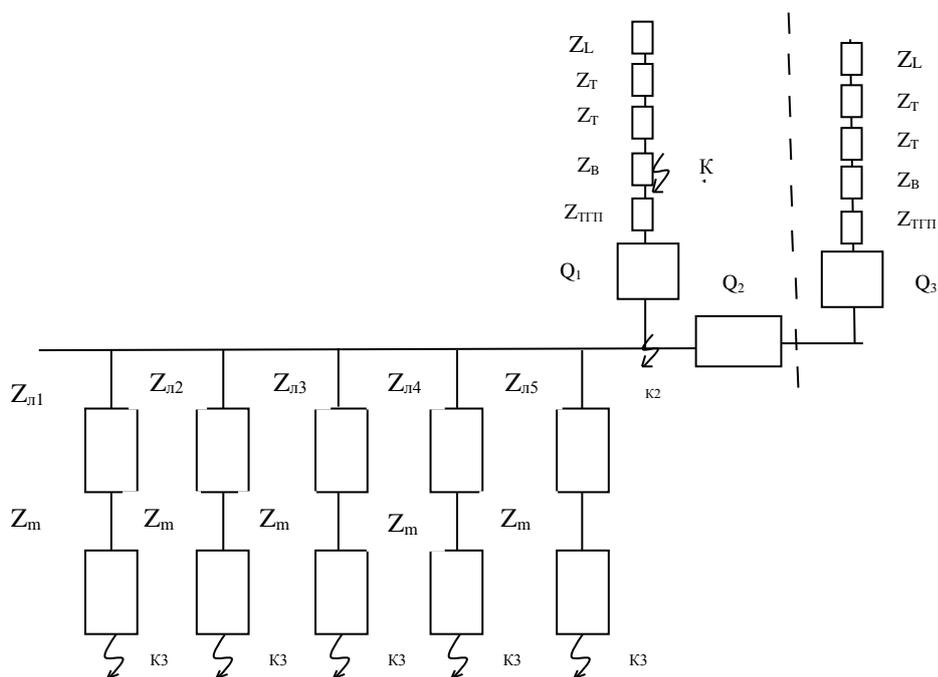


Рисунок 2 – Схема замещения.

Результаты расчетов сопротивлений линий, выполненные в процессе вычислений, представлены в таблице 13.

Таблица 13. – Сопротивление линий

Участок	$R' (10) \text{ мОм}$	$X' (10) \text{ мОм}$
ТП 1	12,76	1,03
ТП 2	12,41	1
ТП 3	38	3
ТП 4	38,33	3,1
ТП-5	49,05	4

Результаты расчетов сопротивлений трансформаторов, проведенные в ходе вычислений, представлены в таблице 14.

Таблица 14. – Сопротивление трансформаторов

Установка трансформаторов	R' (10) мОм	X' (10) мОм	Z' (10) мОм
ТП 1	1,05	5,4	5,5
ТП 2	1,05	5,4	5,5
ТП 3	1,05	5,4	5,5
ТП 4	1,05	5,4	5,5
ТП-5	1,05	5,4	5,5

Вычисления периодической слагающей тока трехфазной КЗ производятся по формуле (30):

$$I'' = \frac{U_6}{\sqrt{3} \times Z} \quad (30)$$

С учетом периодических составляющих рассчитывается по формуле (31) ударный ток КЗ:

$$I_y = I'' \sqrt{1 + 2 \times (k_y - 1)^2}, \quad (31)$$

где k_y - ударный коэффициент, который находится по формуле (32):

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_\alpha}}, \quad (32)$$

где T_α - постоянная затухания аperiodической слагающей, вычисляется согласно уравнению (33):

$$T_\alpha = \frac{\sum X}{314 \sum R} \quad (33)$$

Заносятся в таблицу 15 итоги вычислений по формулам величины токов короткого замыкания.

Таблица 15 – Итоги расчетов токов короткого замыкания.

Место КЗ	$I^{(3)}_{кз}, \text{кА}$	$I_{у\text{кз}}, \text{кА}$	$I^{(2)}_{кз}, \text{кА}$
ТП 1	4,13	5,74	3,58
ТП 2	4,13	5,74	3,58
ТП 3	4,13	5,73	3,57
ТП 4	4,13	5,73	3,57
ТП-5	4,13	5,72	3,57
Точка К2 (шины 10 кВ ГПП)	6,24	9,55	5,56
Точка К1 (ОРУ 110 кВ ГПП)	7,73	11,44	6,69

Полученные в таблице результаты отражают полученные расчетные величины токов короткого замыкания в зависимости от сопротивления трансформаторов и сопротивления линий.

2.7 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей ГПП: выключателей, разъединителей, ограничителей и трансформаторов

Выбираемые выключатели должны отвечать следующим условиям (34-36) [11]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}} \text{ кВ}, \quad (34)$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб}} \text{ кВ}, \quad (35)$$

$$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{к}} \text{ кВ}, \quad (36)$$

где $I_{\text{ном.откл}}$ - номинальный ток отключения выключателя, кА;

$I_{\text{к}}$ - ток трехфазного КЗ, кА.

$$i_{\text{пр.с.}} \geq i_{\text{у}} \text{ кА}, \quad (37)$$

где $i_{\text{пр.с.}}$ - амплитудное значение сквозного тока КЗ, кА;

$i_{\text{у}}$ - ударный ток КЗ, кА;

$$I_m^2 t_m \geq B_k \text{ кА}^2 \text{с}, \quad (38)$$

где I_m^2 - предельный ток термической стойкости, кА;

t_m - время протекания тока термической стойкости, с;

B_k - тепловой импульс тока КЗ, кА²/с.

Выбор разъединителей также зависит от выполнения поставленных условий:

$$U_{н.апп.} \geq U_{н.уст.}, \quad (39)$$

$$I_{н.апп.} \geq I_{раб.мах}, \quad (40)$$

$$i_{дин.} \geq i_y, \quad (41)$$

$$I_{тер}^2 t_{тер} \geq B_k. \quad (42)$$

На основании этих данных был произведен выбор выключателей и разъединителей, которые сведены в таблице 16.

Вместо установленных на данный момент на предприятии выбираем и устанавливаем ограничители напряжения. В ЗРУ 10 кВ выбираем и устанавливаем ОПН-10-У1, на ОРУ 110 - ОПН-110-У1.

Трансформаторы тока (ТТ) выбираются и устанавливаются в зависимости от места и расчетных показателях:

- на фидерах 10 кВ: ТПЛК10-10..75/5;
- на вводах и секционной перемычке ЗРУ 10 кВ: ТПЛК10-500/5;
- на ОРУ 110 кВ: ТВТ-110 – 50/5.

Исходя из выбранных ТТ проведем проверочный расчет в режиме КЗ:

- на фидерах, вводах и секционной перемычке ЗРУ 10 кВ.

По динамической стойкости: $i_{дин.} = 74,5 \text{ кА} > i_{уд} = 9,555 \text{ кА}$.

По термической стойкости: $I_{Т2} t_T = 2900 \text{ кА}^2 / \text{с} > B_k = 123,91 \text{ кА}^2 / \text{с}$.

На ОРУ 110 кВ:

- $i_{дин.} = 42 \text{ кА} > i_{уд} = 11,442 \text{ кА}$;
- $I_{Т2} t_T = 3600 \text{ кА}^2 / \text{с} > B_k = 179,4 \text{ кА}^2 / \text{с}$.

Таблица 16 – Выбор выключателей и разъединителей

Место	Расчетные параметры		Выключатель	Паспортные параметры оборудования		Разъединитель	Паспортные параметры оборудования	
				U_n кВ	I_n А		$U_{н.уст.}$ кВ	$I_{раб.мах}$ А
ГПП ОРУ 110 кВ	$U_{н.уст.}$ кВ	110	ВВБ-110/2000	U_n кВ	110	РНДЗ- 110/1000	$U_{н.уст.}$ кВ	35
	$I_{раб.мах}$ А	32,8		I_n А	630		$I_{раб.мах}$ А	1000
	$I_{пт.}$ кА	7,73		$I_{откл.}$ кА	31,5		$I_{пт.}$ кА	40
	$I_{уд}$ кА	11,44		$i_{дин.}$ кА	90		$I_{уд}$ кА	50
	$B_k = I_{п(0)}^2 \times T_{откл}$ кА ² /с			$I_{дин.}$ кА	36		$B_k = I_{п(0)}^2 \times T_{откл}$ кА ² /с	2500
			$I_{тер}^2 t_{тер}$ кА ² /с	3600				
ГПП Шины 10 кВ	$U_{н.уст.}$ кВ	10	ВВТЭ-10/20-6300 УХХ 2	U_n кВ	10	-		
	$I_{раб.мах}$ А	351,3		I_n А	630			
	$I_{пт.}$ кА	6,4		$I_{откл.}$ кА	20			
	$I_{уд}$ кА	9,6		$i_{дин.}$ кА	80			
	$B_k = I_{п(0)}^2 \times T_{откл}$ кА ² /с	124		$I_{дин.}$ кА	31,5			
			$I_{тер}^2 t_{тер}$ кА ² /с	3600				
ГПП Фидеры 10 кВ	$U_{н.уст.}$ кВ	10	ВВТЭ-10/20-6300 УХХ 2	U_n кВ	10	РВ-10/600	$U_{н.уст.}$ кВ	-
	$I_{раб.мах}$ А	60,2		I_n А	630		$I_{раб.мах}$ А	-
	$I_{пт.}$ кА	4		$I_{откл.}$ кА	20		$I_{пт.}$ кА	-
	$I_{уд}$ кА	5,7		$i_{дин.}$ кА	80		$I_{уд}$ кА	-
	$B_k = I_{п(0)}^2 \times T_{откл}$ кА ² /с	88,4		$I_{дин.}$ кА	31,5		$B_k = I_{п(0)}^2 \times T_{откл}$ кА ² /с	3600
			$I_{тер}^2 t_{тер}$ кА ² /с	3600				

«ТТ проходят проверку» [11].

«Выбор трансформаторов напряжения» [5].

«Условия выбора трансформаторов напряжения (ТН)» по формулам 43, 44 [11]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст.}}, \quad (43)$$

$$S_{\text{ном}} \geq \sum S_2. \quad (44)$$

ТН исходя из условий выбираем типа НАМИ-10-95.

$$U_{\text{н.апп.}} = 10 \text{ кВ} \geq U_{\text{н.уст.}} = 10 \text{ кВ} \quad (45)$$

В таблица 17 представлены значения нагрузки трансформатора напряжения (ТН).

Полученная суммарная нагрузка составила 43 ВА, что существенно меньше допустимого значения 200 ВА. Исходя из этого предлагается замена существующих на данный момент ТН ЗНОЛ-10 на более современные – НАМИ-10-95.

Расчетные показатели собственных нужд ГПП необходим для выбора мощности ТСН, в таблице 18 отражены данные расчеты.

Таблица 18 – Расчет нагрузки СН ГПП

Нагрузка	P _{уст} кВт			cos φ	tgφ	Q квар
	На 1 единицу	Кол-во оборудования	P кВт			
РПН	3	2	6,6	0,95	0,33	2,2
Обогрев ОРУ	0,6	20	11,5	1	0	0
ЗРУ-10 кВ	7	-	7	0,97	0,25	1,75
Освещение ОРУ	10	-	10	0,75	0,88	8,8
Оборудование связи	9	-	8,8	0,85	0,62	5,4
Масленное хозяйство	75	-	75	1	0	0
ИТОГО	-	-	119	-	-	18,15

Для двух ТСН рассчитывается нагрузка СН по формуле (46):

$$S_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}}{2}, \quad (46)$$
$$S_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{119^2 + 18,15^2}}{2} = 60,18 \text{ кВА.}$$

Полученный результат позволяет сделать вывод, о том, что необходимо выбрать ТСН – ТМГ12-100/10.

Вычислим аварийный коэффициент нагрузки для данного ТСН:

$$K_3 = \frac{2 \times 60,18}{100} = 1,2 < 1,4$$

Предельно допустимый предельный показатель ТСН равен 40 %, расчетный показатель составил 21 % [7], исходя из этого возможно произвести замену существующих на данный момент ТСН марки ТМ-160/10 на более энергоэффективные ТМГ12-100/10.

2.8 Расчет для выбора релейная защиты и автоматики

Полученные в ходе проведенного исследования данные позволяют говорить о замене существующего на данный момент электрооборудования предприятия РЗ на микропроцессорные терминалы серии ЭКРА производства ООО НПП «ЭКРА».

Проведем расчеты РЗА для ГПП. Для определения тока срабатывания защиты рассчитываются по формулам (47), (48) и (49):

$$I_{\text{сз}} \geq \frac{K_{\text{отс}} \times K_{\text{сзп}}}{K_{\text{в}}} \times I_{\text{НОМ}}, \quad (47)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстойки – 1,2;

$K_{сзп}$ – коэффициент самозапуска – 2,5;

$K_{в}$ – коэффициент возврата – 0,8.

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \times U_{ном}}, \quad (48)$$

$$I_{ном} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 110} = 52 \text{ A},$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,2 \times 2,5}{0,8} \times 52 = 197 \text{ A},$$

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \times K_{сх}}{n_{та}}, \quad (49)$$

$$I_{ср} = \frac{197}{20} = 9,85 \text{ A}$$

В качестве формулы для тока срабатывания защиты принимается формула (50):

$$I_{сз} \geq \frac{K_{отс}}{K_{в}} \times I_{ном}, \quad (50)$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,2}{0,8} \times 52 = 78 \text{ A}$$

По формуле (51) рассчитывается напряжение срабатывания защиты:

$$U_{сз} = 0,5 \times U_{ном}, \quad (51)$$

$$U_{сз} = 0,5 \times 6 = 3 \text{ кВ},$$

$$I_{ср} = \frac{73}{20} = 3,9 \text{ A}$$

На реле КА2 и реле времени КТ2 устанавливаем максимальную токовую защиту, таким образом ток срабатывания защиты при выбранных реле будет

равняться $I_{сз} \geq 68,25$ А, а ток срабатывания реле в свою очередь будет равен $I_{ср} = 3,41$ А.

Расчет токовой отсечки рассчитывается согласно формуле (52):

$$\begin{aligned} I_{co} &\geq K_{отс} \times I_{max}^{(3)}, \\ I_{co} &\geq 1,4 \times 780 \text{ А} \end{aligned} \quad (52)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки – 1,4;

$I_{max}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ, приведенный на стороне низкого напряжения.

Максимальный ток КЗ в свою очередь рассчитывается по формуле (53):

$$\begin{aligned} I_{max}^{(3)} &= \frac{I_{max}^{(2)}}{n_{T1}}, \\ I_{max}^{(3)} &= \frac{14360}{18,3} \approx 780 \text{ А} \end{aligned} \quad (53)$$

где n_{T1} – коэффициент трансформации защищаемого ГПП;

При полученных результатах расчетов показатель $I_{ср} = 56,4$ А.

Для трансформатора ГПП необходимо также провести расчет параметров дифференциальной защиты.

В первую очередь рассчитывается ток небаланса по формуле (54) и (55):

$$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}, \quad (54)$$

$$I'_{нб} = K_{одн} \times K_{апер} \times \varepsilon \times I_{max}^{(3)} \quad (55)$$

где $K_{\text{одн}}$ – коэффициент однотипности – 1;

$I_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ, приведенный на стороне низкого напряжения;

$K_{\text{апер}}$ – коэффициент апериодической составляющей;

ε – относительная погрешность тока трансформатора – 1.

$$I'_{\text{нб}} = 1 \times 1 \times 0,1 \times 660 = 66 \text{ А,}$$

$$I''_{\text{нб}} = 0,16 \times 660 = 105,6 \text{ А,}$$

$$I_{\text{нб}} = 66 + 105,6 = 171,6 \text{ А,}$$

$$I_{\text{сз}} \geq 223,08 \text{ А}$$

Для обеспечения релейной защиты используется микропроцессорный терминал ЭКРА 217 0301. Детали схемы релейной защиты представлены на рисунке в Приложении 4.

Проведем расчеты РЗА для ТП. Для определения тока срабатывания защиты рассчитывается по формуле (56):

$$I_{\text{сз}} \geq \frac{K_{\text{н}} \times K_{\text{сзп}}}{K_{\text{в}}} \times I_{\text{раб макс}}, \quad (56)$$

где $I_{\text{сз}}$ – ток срабатывания защиты;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности – 1,1;

$K_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска – 1,3;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата – 0,9;

$I_{\text{раб макс}}$ – максимальный рабочий ток.

$$I_{\text{сз}} \geq \frac{1,1 \times 1,3}{0,9} \times 52 = 82,6 \text{ А}$$

Ток срабатывания защиты реле вычисляется согласно выражению (57):

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}} \times K_{\text{сх}}^{(3)}}{n_{\text{т}}}, \quad (57)$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{82,6 \times 1}{20} = 4,13 \text{ А}$$

С помощью коэффициента чувствительности $K_{\text{чув}}$ производится оценка эффективности защиты по формуле (58):

$$K_{\text{чув}} = \frac{I_{\text{р.мин}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (58)$$

$$K_{\text{чув}} \approx 1,5$$

Далее на основании имеющихся данных проводим расчет токовой отсечки линий в соответствии с выражением (59):

$$I_{\text{сз}} \geq \frac{U_{\text{с.мин}}}{\sqrt{3} \times K_{\text{н}} \times (z_{\text{с.мин}} + k_0 \times z_{\text{с.мин}})} \quad (59)$$

где $U_{\text{с.мин}}$ – межфазное напряжение системы при минимальных значениях – 0,9;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности – 1,1;

$z_{\text{с.мин}}$ – сопротивление системы до места установки – Ом;

k_0 – коэффициент зависимости остаточного напряжения – 0,7.

В качестве последнего параметра защиты проводим расчет однофазного замыкания на землю по формулам (60) и (61):

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{н}} \times K_{\text{бр}} \times I_{\text{с.фид.макс}}, \quad (60)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{с}\Sigma}}{I_{\text{сз}}} = 0,75 \quad (61)$$

где $I_{с.фид.макс}$ – емкостный ток фидера;

K_n – коэффициент надежности – 1,1;

$k_{бр}$ – «коэффициент броска емкостного тока»;

$I_{с\Sigma}$ – «суммарный емкостный ток сети».

Исходя из проведенных расчетов выбираем терминал ЭКРА 217 0101 для защиты линий 10 кВ. Схема линий 10 кВ отображена на рисунке в Приложении 4.

В шинах на 10 кВ АВР расчеты выполняются на микропроцессорном терминале ЭКРА 217 1401. Схема терминала показана в Приложении 6.

На основании проведенных расчетов нагрузок, потребляемых на предприятии с учетом системы освещения и без него, позволяют провести дальнейший расчет мощностей всех участков производства, что позволяет упростить выбор современного оборудования, отвечающего требованиям предприятия на данном отрезке времени.

Вывод по главе 2:

На основании проведенных расчетов нагрузок, потребляемых на предприятии с учетом параметров системы освещения и без учета его показателей, позволяют провести дальнейший расчет мощностей всех участков производства, что позволяет упростить выбор современного оборудования, отвечающего требованиям предприятия на данном отрезке времени.

3 Законодательные требования, предъявляемые к проекту реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод Волна»

3.1 Соблюдение требований законодательства по охране труда

Разделом X Трудового кодекса Российской Федерации «Охрана труда» регулируются общие правила труда на предприятиях и в других организациях [16].

Служба охраны труда отвечает за предотвращение опасностей и минимизацию вреда для здоровья работников в рамках мер по обеспечению охраны труда [4].

Ведение отчетной документации по охране труда, проведение инструктажей, создание информационных плакатов и стендов являются обеспечительными мерами.



Рисунок 3 – Информационный плакат о средствах защиты в электроустановках

«Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя. Работодатель обязан создать безопасные условия труда исходя из комплексной оценки тонического и организационного уровня рабочего места, а также исходя из оценки факторов производственной среды и трудового процесса, которые могут привести к нанесению вреда здоровью работников» [7].

В соответствии с ФЗ от 29.06.2015 № 162 «О стандартизации в Российской Федерации» и постановлением Правительства от 24.12.2021 № 2464 «О порядке обучения по охране труда и проверке знания требований охраны»: «охрана труда (ОТ) и техника безопасности (ТБ) при монтаже, эксплуатации, обслуживании, ремонте системы электроснабжения регулируются положениями данных нормативно-правовых актов» [10].

«Для обеспечения безопасности технологического процесса в первую очередь необходимо проводить инструктажи и проверки по работе с оборудованием и использованию СИЗ» [9].

3.2 Расчет параметров системы заземления и молниезащиты предприятия

Для ТП-110/10 кВ проведем расчет заземления.

«Максимально допустимое сопротивление со стороны 0,4 кВ $R_3=4$ Ом» [12].

«Удельное сопротивление грунта ρ_ρ (Ом×м) для вертикальных и горизонтальных электродов с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле (62)» [11]:

$$\rho_\rho = \rho \times K_c, \quad (62)$$

где ρ – 2000 Ом×м – удельное сопротивление известняка;

K_c - коэффициент сезонности.

$$\rho_{\rho_B} = 2000 \times 1,1 = 2200 \text{ Ом} \times \text{м},$$

$$\rho_{\rho_G} = 2000 \times 1,4 = 2800 \text{ Ом} \times \text{м}$$

Для обеспечения заземления используем контур с вертикальными (ВЭ) и горизонтальным (ГЭ) электродами из стальных уголков размером 50x50 мм и полос размером 50x5 мм соответственно [11]. Значение сопротивления растеканию для одного вертикального заземлителя ($R_{\text{овэ}}$) можно вычислить по формуле (63):

$$R_{\text{овэ}} = \frac{\rho_{\rho_B}}{2 \times \pi \times l} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times l}{d} \right) + 0,5 \times \ln \left(\frac{4 \times t + l}{4 \times t - l} \right) \right], \quad (63)$$

где l - длина вертикального электрода, м;

d - диаметр (для угловой стали приведенный диаметр) вертикального электрода, м;

t - расстояние от поверхности до центра вертикального электрода, м.

$$d = 0,95 \times b, \quad (64)$$

где b – ширина уголка, выражается в метрах.

Для одного ВЭ сопротивление растеканию:

$$d = 0,95 \times 0,05 = 0,04 \text{ м},$$

$$t = \frac{3}{2} + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{2200}{2 \times 3,14 \times 3} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times 3}{0,04} \right) + 0,5 \times \ln \left(\frac{4 \times 2,3 + 3}{4 \times 2,3 - 3} \right) \right] = 60,9 \text{ Ом}$$

Число вертикальных электродов, необходимое для расчета, вычисляется с помощью следующей формулы. (65) [11]:

$$n' = \frac{R_{0ВЭ}}{R_H} \quad (65)$$

Максимально допустимое сопротивление заземления $R_H = 4 \text{ Ом}$.

$$n' = \frac{60,9}{4} = 15,22 \approx 16 \text{ шт}$$

Длина горизонтальной линии вычисляется с использованием уравнения (66):

$$l_r = 1,05 \times \alpha \times n', \quad (67)$$

где α – расстояние между ВЭ, выражается в м.

$$\alpha = l_{\text{пер}}/n' \quad (68)$$

Периметр здания ТП в метрах - $l_{\text{пер}}$

$$l_{\text{пер}} = 2 \times (7,3 + 6,5) = 27,6 \text{ м},$$

$$\alpha = \frac{27,6}{6} = 1,73 \text{ м},$$

$$l_r = 1,05 \times 1,73 \times \approx 29 \text{ м}.$$

Резистентность горизонтального заземлителя $R_{rэ}$ (Ом) вычисляется с использованием формул (69) и (70):

$$R_{rэ} = \frac{\rho_{rг}}{2 \times \pi \times l} \times \ln \left(\frac{l^2}{d \times t} \right), \quad (69)$$

где l - длина горизонтального электрода, м;

d - диаметр (для полосовой стали расчетный диаметр) электрода, м;

t - расстояние от поверхности до центра горизонтального электрода, м.

$$d = 0,5 \times b \quad (70)$$

Для ГЭ сопротивление растеканию рассчитывается по описанным выше уравнениям:

$$d = 0,5 \times 0,05 = 0,025 \text{ м,}$$

$$t = \frac{0,05}{2} + 0,8 = 0,82 \text{ м,}$$

$$R_{ГЭ} = \frac{2800}{2 \times 3,14 \times 29} \times \\ \times \ln \left(\frac{29^2}{0,025 \times 0,82} \right) = 2,8 \text{ Ом}$$

Эквивалентное заземление группового заземления (71):

$$R_{гр} = \frac{R_{ОВЭ} \times R_{ГЭ}}{R_{ОВЭ} \times \eta_{В} \times R_{ГЭ} \times \eta_{Г}}, \quad (71)$$

где $\eta_{В}$ - коэффициент использования вертикальных электродов;

$\eta_{Г}$ - коэффициент использования горизонтальных электродов.

$$R_{гр} = \frac{60,9 \times 2,8}{60,9 \times 0,51 \times 16 \times 0,51} = 3,7 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Для ГПП проведем расчет заземляющего устройства.

Эффективно заземленная нейтраль сети на стороне 110 кВ, при максимально допустимом сопротивлении заземления равном 0,5 Ом.

[12].

Угловая сталь 50x50 мм используется для контурного заземления вертикальных электродов (ВЭ), для горизонтального (ГЭ) – угловая сталь 50x5 мм.

Расчет проводится согласно выражениям:

$$d = 0,95 \times 0,05 = 0,047 \text{ м,}$$

$$t = \frac{0,35}{2} + 0,8 = 2,5 \text{ м,}$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{2200}{2 \times 3,14 \times 3,5} \times$$

$$\times \left[\ln \left(\frac{2 \times 3,5}{0,047} \right) + 0,5 \times \ln \left(\frac{4 \times 2,5 + 3,5}{4 \times 2,5 - 3,5} \right) \right] = 21,85 \text{ Ом,}$$

$$n' = \frac{21,85}{0,5} = 43,7 \approx 44 \text{ шт,}$$

$$l_{\text{пер}} = 2 \times (35 + 45) = 160 \text{ м,}$$

$$\alpha = \frac{160}{44} = 3,6 \text{ м,}$$

$$l_r = 1,05 \times 3,6 \times 44 \approx 167 \text{ м,}$$

$$R_{\text{гэ}} = \frac{2800}{2 \times 3,14 \times 167} \times \ln \left(\frac{167^2}{0,025 \times 0,82} \right) = 0,2 \text{ Ом,}$$

$$R_{\text{гр}} = \frac{21,85 \times 0,2}{21,85 \times 0,41 \times 44 + 0,2 \times 0,21} =$$

$$= 0,42 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом.}$$

В качестве мер по обеспечению мониезащиты используется ТП серии 2КТПН-ПК, в руководстве по эксплуатации, которого значится следующее: «не требуется дополнительных мер по молниезащите из-за полностью металлическая оболочка, соединенная с системой заземления» [6].

«Молниезащита производственного корпус предприятия, внутри которого располагаются производственные цеха, обеспечивается за счет молниеприемной сетки, с заземляющими устройствами не менее, чем в 2х

местах по углам. Сетка выполнена из стальной полосы 50x5 мм, образующей квадратные секции равные 1,5x2 м» [1].

3.3 Соблюдение требований экологического законодательства при проведении работ по модернизации и реконструкции систем электроснабжения предприятия

Для получения всех необходимых разрешений и документов на проведение ремонта, реконструкции и дальнейшего ввода в эксплуатацию предприятия необходимо соблюдение требований экологического законодательства. Нормы экологического законодательства весьма разрознены, так как не имеют собственного кодифицированного источника.

В качестве основных нормативно-правых документов для предприятий электроэнергетического комплекса является ГОСТы. «Электрическая часть систем электроснабжения промышленных предприятий также должна проектироваться, эксплуатироваться и ремонтироваться с условиями причинения наименьшего ущерба окружающей среде» [3]. ГОСТ Р 54906–2012: «устанавливает нормы выбора оборудования и технических решений с условиями причинения наименьшего ущерба окружающей среде».

Уменьшение негативного воздействия на окружающую среду и соблюдение экологических норм в рамках проводимого исследования по восстановлению системы электроснабжения [23]:

- произведена замена устаревшего оборудования на более современное и экологически безопасное;
- уравновешена реактивная нагрузка на ГПП в соответствии с актуальными мощностями предприятия;

восстановлению системы электроснабжения [23]:

- произведена замена устаревшего оборудования на более современное и экологически безопасное;

- уравнивается реактивная нагрузка на ГПП в соответствии с актуальными мощностями предприятия;
- применена современная система нейтрального заземления TN-C-S и противопожарные УЗО.

Установка обновленных устройств, созданных в соответствии с современными требованиями и технологиями, позволяет снизить воздействие на окружающую среду в процессе его эксплуатации. Было обеспечено соответствие требованиям ГОСТ 31996–2012 для работы в нормальном и аварийном режиме, а также требованиям по защите окружающей среды. При изготовлении подобного оборудования применяются материалы с наименьшим выделением токсичных веществ и дыма при нагреве [21].

Современные технические решения и выбор высокотехнологичного электрооборудования в рамках предложения по реконструкции электроснабжения предприятия, позволят повысить надежность, энергоэффективность, безопасность и экологичность системы электроснабжения предприятия после проведения работ по реконструкции.

Соблюдение всех необходимых требований законодательства в рамках охраны труда, системы заземления и молниезащиты предприятия, а также требований экологического законодательства, позволяет существенно упростить и повысить скорость проведения работ по модернизации и реконструкции систем электроснабжения АО «НПО Завод «Волна».

Вывод по главе 3:

Соблюдение всех необходимых требований законодательства в рамках охраны труда, системы заземления и молниезащиты предприятия, а также требований экологического законодательства, позволяет существенно упростить и повысить скорость проведения работ по модернизации и реконструкции систем электроснабжения АО «НПО Завод «Волна».

Заключение

В выпускной квалификационной работе произведена разработка первичного проекта реконструкции системы электроснабжения АО «НПО Завод «Волна». Учитывая текущую нагрузку на производственные мощности и соблюдая законодательные нормы в области надежности, охраны труда, эксплуатации и энергоэффективности, основная цель данной работы заключается в создании проекта переоснащения системы электроснабжения АО «НПО Завод «Волна».

Исходя из данных о предприятии и справочно-методической литературы о коэффициентах мощности и использования были выведены среднесменный активный и реактивный показатели нагрузки по цехам предприятия, что в дальнейшем позволило провести расчет общих нагрузок предприятия в целом.

В рамках работы также были проведены исследования соответствия предприятия требованиям современного законодательства по охране труда и экологии, что по ее итогу показало, отсутствие отклонений от требований, а значит функционирование предприятия в рамках правового поля.

При проведении расчетов значений токов короткого замыкания в различных точках схемы, направлены на последующее прохождение проверки всего электрооборудования.

Оборудование, описанное в рамках квалификационного проекта, имеют все регламентированные в нормативных документах сертификаты и полностью соответствуют заданным параметрам, так как устойчивы к токам короткого замыкания.

Предлагаемый в работе план по проведению реконструкции даст возможность существенно снизить риски аварийности и потерь электроэнергии.

Снижению эксплуатационных затрат и увеличению общей надежности предприятия, способствует применение новейшего электрооборудования.

Список используемых источников

1. Андреев В.А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах / В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 2021. 254 с.
2. АО «НПО Завод «Волна» [Электронный ресурс]: URL: <https://volnaspb.ru> (дата обращения: 01.08.2024).
3. ГОСТ 14209–85. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – М.: Энергия, 2019. 39 с.
4. ГОСТ 12.1.030–81 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – М.: Энергия, 2019. 66 с.
5. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю.Е. Гуревич. – Москва: Торус Пресс, 2019. 408 с.
6. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением свыше 1000 В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. - М.: Солон-Пресс, 2020. 418 с.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2022. 412 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2019.352 с.
9. Охрана труда в энергетике. Сост. Кузьяев Д.Р. Производственно-практическое издание. – Казань: Издательский дом Маковского, 2022. – 296 с.
10. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / А. Куско, М. Томпсон. - М.: Додэка XXI, 2022. 336 с.
11. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения / Г.Р. Миллер. - М.: Государственное энергетическое издательство, 2020 176 с.
12. Можяева С.В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2021. 268 с., ил.
13. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: учеб.

пособие / Н.К. Полуянович. - Изд. 5-е, стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. – С. 396- ISBN 978-5-8114-1201-3. с.52

14. Правила устройства электроустановок, издание 7. – М.: Энергия, 2021. 648 с.

15. РД 153–34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования - [Электронный ресурс]: URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b28/4294817179.pdf> (дата обращения: 08.09.2024).

16. Трудовой кодекс Российской Федерации в редакции на 08.08.2024 с таблицами изм. и указ. суд. практи. – М.: Эксмо – 2024. 400 с.

17. Техническая документация. Электроснабжение производственной базы АО «НПО Завод «Волна»: - Санкт-Петербург, 2023. 205 с.

18. Фролов Ю.М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2021. 480 с.

19. Хорольский В. Я. Надежность электроснабжения / В. Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Форум, Инфра-М, 2023. 127 с.

20. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Дрофа, 2019. 288 с.

21. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В. П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2024 214 с.

22. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2024. 136 с.

23. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. –<http://electricalschool.info/> (дата обращения: 29.08.2024).

24. Энергосети России. Информационный портал. [Электронный ресурс]. –<https://energoseti.ru/> (дата обращения: 08.09.2024).

25. Юндин М.А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению / М.А. Юндин, А.М. Королев. - М.: Лань - 2-е изд., испр. и доп.; 2022. 320 с.