

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 поликлиники районной больницы в г. Лянтор ХМАО-Югра

Обучающийся

А.Р. Габдуллин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2024

Аннотация

В настоящей работе было проведено проектирование системы электроснабжения больничного городка.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надёжности и безопасности систем электроснабжения в медицинских учреждениях, что критично для обеспечения качественного медицинского обслуживания.

Цель работы — разработать эффективную систему электроснабжения для больничного городка районной больницы в г. Лянтор, соответствующую современным стандартам и требованиям.

Для целей настоящей работы был проведен анализ электрических нагрузок больничного городка, определена необходимая конфигурация электрической сети, количество и мощность трансформаторов подстанции. Из полученных электротехнических параметров были выбраны проводники и кабели, коммутационные аппараты, рассчитаны токи КЗ и осуществлен подбор электрических аппаратов (предохранители, рубильники, автоматические выключатели и т.п.)

Результатом работы является спроектированная система электроснабжения, в которой использованы типовые решения, схемы и элементы, приводящие к унификации электрооборудования больничного городка и как следствие к удешевлению обслуживания и проектировочной стоимости.

Содержание

Введение.....	5
1 Расчёт электрических нагрузок больничного городка.....	6
1.1 Расчёт искусственного освещения	6
1.2 Расчёт аварийного освещения	15
1.3 Расчёт электрических нагрузок	21
2 Обоснование выбора напряжений и конфигурации сети	27
3 Выбор числа и мощности трансформаторов подстанции.....	29
3.1 Выбор числа силовых трансформаторов	29
3.2 Выбор мощности силовых трансформаторов	29
3.3 Техничко-экономическое сравнение выбранных вариантов.....	33
4 Расчёт и выбор компенсирующих устройств.....	36
5 Выбор проводников и кабелей потребителей	38
5.1 Определение местоположения ТП	38
5.2 Выбор кабелей крупных потребителей.....	39
5.3 Выбор кабелей ответственных потребителей поликлиники	41
5.4 Выбор кабелей групповых сетей сети.....	45
6 Предварительный выбор коммутационных аппаратов.....	52
6.1 Выбор аппаратов КРУ ВН.....	52
6.2 Выбор аппаратов РУ НН	53
6.3 Выбор аппаратов ВРУ	53
7 Расчёт токов КЗ	54
7.1 Предварительные замечания.....	54
7.2 Расчёт токов трёхфазного КЗ.....	66
7.3 Расчёт токов однофазного КЗ	68
8 Окончательный выбор оборудования	72
8.1 Выбор и проверка разъединителя.....	72
8.2 Выбор ограничителя перенапряжения.....	73
8.3 Выбор и проверка предохранителя	74

8.4 Выбор и проверка рубильника.....	75
8.5 Выбор автоматических выключателей у потребителей.....	76
8.6 Выбор и проверка автоматических выключателей на РУ НН.....	81
Заключение	82
Список используемой литературы и источников	84
Приложение А Результаты светотехнического расчёта.....	87
Приложение Б Результаты расчёта токов короткого замыкания	103

Введение

Электрическая энергия является центральным энергетическим ресурсом мира. Её широкое распространение обусловлено легкостью получения, высокой транспортабельностью и экологической безопасностью, относительно низкой ценой производства.

За последнее десятилетие отмечаются существенные достижения в области производства и использования источников света. Потребление мощности осветительной установки в среднем составляет до 30 % от всей установленной мощности здания. Использование неэффективной и нерациональной осветительной установки может привести к существенным экономическим потерям в долгосрочной перспективе. Поэтому, требуется разработка систем освещения с применением светодиодных источников света.

В современных медицинских учреждениях серьёзно относятся к вопросам бесперебойного электроснабжения. Это связано с тем, что от бесперебойной работы высокотехнологичной аппаратуры напрямую зависит здоровье, а иногда и жизнь пациентов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надёжности и безопасности систем электроснабжения в медицинских учреждениях, что критично для обеспечения качественного медицинского обслуживания.

Цель работы – разработать эффективную систему электроснабжения для больничного городка районной больницы в г. Лянтор ХМАО-Югра, соответствующую современным стандартам и требованиям.

Ключевым звеном систем электроснабжения являются электрические подстанции. Электроустановки, задачами которых является преобразование и распределение электрической энергии.

Как правило, при проектировании используют типовые решения. Это позволяет не только унифицировать и ускорить техническое обслуживание и ремонт, но и снизить проектировочную стоимость.

1 Расчёт электрических нагрузок больничного городка

1.1 Расчёт искусственного освещения

Перед выбором размещения светильников необходимо задаться допустимыми данными ряда физических величин.

Согласно СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» [13], при системе общего освещения работы, связанные с обслуживанием населения, имеют разряд и подразряд зрительных работ Пб. Для кабинетов разряд и подразряд зрительных работ составляет Пв.

Приведём пример расчёта для помещения 1.0.02 – вестибюль.

Итак, необходимо выбрать:

- $E_n = 150$ – нормированная освещённость, лк;
- K_z – коэффициент запаса, о. е.;
- η_{oy} – коэффициент использования светового потока осветительной установки, о.е;
- z – отношение средней освещённости к минимальной, о. е.

Коэффициент запаса выбирается в соответствии со СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» [13].

Согласно данному документу, коэффициент запаса K_z при проектировании естественного, искусственного и совмещенного освещения следует принимать по таблице 3* [13, п. 4.3].

Коэффициент запаса принимается в зависимости от типа помещения, воздушной среды и эксплуатационной группы светильников.

В данной работе расчёт ведётся для производственного помещения с содержанием пыли, дыма и копоти менее $1 \frac{мг}{м^3}$.

Эксплуатационная группа светильников выбирается в соответствии с Приложением Г [13] и для наших светильников (предположительно РСП08/Л00) составляет – 7 группа.

Выбираем коэффициент запаса с рекомендациями по примечанию 3 равный:

$$K_3 = 1,4 - 0,1 = 1,3(o.e.).$$

Зададимся коэффициентами отражения потолка, стен и расчётной поверхности помещения:

- $\rho_{\Pi} = 50\%$,
- $\rho_C = 30\%$,
- $\rho_P = 10\%$.

Согласно обучающему пособию, значение η_{oy} принимается по таблице 8.1в [20, с. 109, таблица 8.1в].

Он зависит от индекса помещения i_n , коэффициентов отражения поверхностей помещения и типовой КСС светильников.

Расчёт индекса помещения ведётся по формуле (1).

$$i_n = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (1)$$

где A – длина помещения, m ;

B – ширина помещения, m ;

H_p – высота установки светильников над освещаемой поверхностью, m .

Расчёт величины H_p ведётся по формуле (2).

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (2)$$

где H – высота помещения, m ;

h_c – высота свеса, м;

h_p – высота расчётной поверхности, м.

Принимаем высоту потолков поликлиники 3,0 м. Высота потолков бытового помещения (подвала) с учётом цоколя составляет 2,1 м.

Расчётная высота установки светильников составит:

$$H_p = 3,0 - 0,8 - 0,2 = 2,0 \text{ (м)}.$$

Условимся считать, что КСС наших светильников – глубокая, 2 типа.

Произведём расчёт индекса помещения по формулам (1) и (2):

$$i_n = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{151,8 \cdot 42,3}{2 \cdot (151,8 + 42,3)} = 16,54 \text{ (о.е.)}.$$

Выбираем таблице 8.1 в [20, с.109] параметр η_{oy} который лежит в пределах для индекса помещения $12 \leq i_n \leq 14$. Для индекса помещения менее 2 коэффициент использования составляет 95 %.

В связи с невозможностью точного выбора параметра η_{oy} найдём его методом линейной интерполяции.

Параметр η_{oy} является функцией от i_n , то есть $\eta_{oy} = f(i_n)$.

Поэтому формула для линейной интерполяции будет иметь вид:

$$\eta_{oy} = f_{\text{мин}}(i_n) + \frac{i_{n.\text{мин}} - i_n}{i_{n.\text{макс}} - i_n} (f_{\text{макс}}(i_n) - f_{\text{мин}}(i_n)) \quad (3)$$

По формуле (3) рассчитываем параметр η_{oy} :

$$\eta_{oy} = 83 + \left| \frac{12 - 12,7142}{16 - 12,7142} \right| (90 - 83) \approx 84(\%).$$

Выбор размещения светильников произведём согласно обучающему пособию [20, с.103, п.7].

Для этого необходимо задаться рядом величин:

- L , расстояние между соседними светильниками или рядами, м;
- l , расстояние от крайних светильников или рядов до стены, м.

Существуют наиболее выгодное соотношение $\frac{L}{H_p}$ для каждой КСС.

В соответствии с таблицей 7.1 [20, с. 104] для КСС типа Г это соотношение должно лежать в пределах:

$$0,8 \leq \frac{L}{H_p} \leq 1,1.$$

Стало быть, L будет лежать в пределах:

$$1,6 \leq L \leq 2,2.$$

Расстояние l принимается равным:

$$0,3 \leq \frac{l}{L} \leq 0,5.$$

Расчёт ведётся следующим образом:

Изначально, задаются параметрами L и l .

Вычисляется ориентировочное число рядов светильников по формуле (4):

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1. \quad (4)$$

Вычисляется расчётное значение светового потока ламп одного ряда определяется по формуле (5):

$$\Phi_{расч} = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta_{oy}}. \quad (5)$$

Выбирается светильник и рассчитывается число светильников в одном ряду по формуле (6):

$$N = \frac{\Phi_{расч}}{n \cdot \Phi_l}, \quad (6)$$

где n – кол-во ламп в светильнике, шт.;

Φ_l – световой поток одной лампы, лм.

Полученное значение округляется до большего натурального числа и расстояния пересчитываются. Реальное расстояние между светильниками рассчитывается по формуле (7):

$$L_A = \frac{A - 2l - Nl_c}{N - 1}, \quad (7)$$

где l_c – длина одного светильника, м.

Зададимся исходными данными.

Выберем расстояние между рядами $L = 1,5 (м)$ и отступ от длинной стороны $l = 1,5 (м)$.

Ориентировочное количество рядов по формуле (4):

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1 = \frac{9 - 2 \cdot 1,5}{1,5} + 1 = 5 \text{ (рядов)}.$$

Расчётное значение светового потока для ряда по формуле (5) равно:

$$\Phi_{расч} = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta_{oy}} = \frac{150 \cdot 1,3 \cdot 523,6 \cdot 1,15}{5 \cdot 0,84} = 27956,5 \text{ (лм)}.$$

Выбираем светодиодные светильники V1-A0-00070-01A00-2002765 с номинальным значением потока лампы 3150 лм.

Откуда, кол-во светильников в ряду по формуле (6):

$$N = \frac{\Phi_{расч}}{n \cdot \Phi_l} = \frac{27956,5}{3150} = 8,88 \approx 9 \text{ (шт.)}.$$

Принимаем расстояние от короткой стороны $l_A = 1,5 \text{ (м)}$.

Тогда расстояние между светильниками составит:

$$L_A = \frac{A - 2l}{N - 1} = \frac{21,2 - 2 \cdot 1,5}{9 - 1} = 2 \text{ (м)}.$$

Пересчитаем реально создаваемую освещённость:

$$E_n^* = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_l \cdot R \cdot \eta_{oy}}{K_z \cdot S \cdot z} = \frac{9 \cdot 1 \cdot 3150 \cdot 9 \cdot 0,84}{1,3 \cdot 523,6 \cdot 1,15} = 152 \text{ (лк)}.$$

Как видно, полученная освещённость отличается от требуемой не более чем на $\frac{152 - 150}{150} \leq 1,4 \%$.

Таким образом принимаем к установке пять рядов по девять ламп в каждом, светильниками V1-A0-00070-01A00-2002765.

В целях уменьшения коэффициента пульсации подключаем светильники к разным фазам.

Для группы О.1: 1 ряд – ABC, 2 ряд – ВСА, 3 ряд – САВ, 4 ряд – ABC, 5 ряд – ВСА.

Определим установленную мощность осветительной нагрузки:

$$P = P_{ном.} \cdot RN = 0,027 \cdot 5 \cdot 9 = 1215 (Вт) = 1,215 (кВт).$$

Проводим расчёт освещения центрального отделения первого этажа поликлиники (по номеру экспликации 1.0) и заносим данные в таблицу 1 (с. 13 настоящей работы).

Данные по выбранным светильникам заносим в таблицу 2 (с. 20 настоящей работы).

Остальные расчёты представлены в таблицах А.1-А.7 Приложения А (с. 87 -101 настоящей работы).

Таблица 1 – Результаты светотехнического расчёта для фронтального отделения 1-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		M^2	$лк$	$шт.$	$лм$		$шт.$		$лк$	$\%$	$Вт$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.0.01	Тамбур	42,9	100	1	7635,2	2600	2,9	3	102	2,16	25	75
1.0.02	Вестибюль	523,6	150	5	27956,5	3150	8,9	9	152	1,41	27	1215
1.0.03	Пост охраны	26,1	200	1	9290,4	3150	2,9	3	203	1,72	27	81
1.0.04	Гардероб уличной одежды	51,6	150	2	6887,7	3150	2,2	2	137	8,53	27	108
1.0.05	Лестничная клетка	26,6	100	1	4734,2	2600	1,8	2	110	9,84	25	50
1.0.06	Лестничная клетка	26	100	1	4627,4	2200	2,1	2	95	4,91	18	36
1.0.07	Регистратура	29,3	200	3	3476,5	3150	1,1	1	181	9,39	27	81
1.0.08	Помещение картотеки	19,7	200	1	7012,3	3150	2,2	2	180	10,16	27	54
1.0.09	Туалет женский	4,9	200	1	1744,2	600	2,9	3	206	3,20	6	18
1.0.10	Помещение хранения уборочного инвентаря	4,8	100	1	854,3	900	0,9	1	105	5,35	11	11
1.0.11	Туалет мужской	4,7	200	1	1673,0	600	2,8	3	215	7,59	6	18
1.0.12	Туалет ММГН	4,9	200	1	1744,2	600	2,9	3	206	3,20	6	18
1.0.13	Кафетерий	68,2	200	2	12138,0	3150	3,9	4	208	3,81	27	216
1.0.14	Зона раздачи кафетерия	23,5	300	2	6273,7	3150	2,0	2	301	0,42	27	108
1.0.15	Подсобное помещение	10,3	100	1	1833,2	600	3,1	3	98	1,81	6	18
1.0.16	Загрузочная	8,7	200	1	3096,8	3150	1,0	1	203	1,72	27	27
1.0.17	Помещение торгового киоска	36,3	200	2	6460,5	3150	2,1	2	195	2,48	27	108
1.0.18	Подсобное помещение торгового киоска	17	100	1	3025,6	3150	1,0	1	104	4,11	27	27
1.0.19	Помещение аптечного киоска	25,5	200	2	4538,4	2200	2,1	2	194	3,05	18	72
1.0.20	Подсобное помещение аптечного киоска	12,7	100	1	2260,3	600	3,8	4	106	6,18	6	24
1.0.21	Лифтовой холл	39,6	75	1	5285,9	1000	5,3	5	71	5,41	10	50
1.0.22	Коридор	191,5	200	4	17041,2	3700	4,6	5	217	8,56	28	560
1.0.23	Лестничная клетка	27,5	100	2	2447,2	2600	0,9	1	106	6,25	25	50
1.0.24	Тамбур	33,3	100	2	2963,3	3150	0,9	1	106	6,30	27	54

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.0.26	Лифтовой холл	40,5	75	2	2703,0	1000	2,7	3	83	10,99	10	60
1.0.27	Тамбур	33,3	100	2	2963,3	3150	0,9	1	106	6,30	27	54
1.0.28	Лестничная клетка	27,2	100	2	2420,5	2600	0,9	1	107	7,42	25	50
1.0.29	Лестничная клетка	25,3	100	2	2251,4	1200	1,9	2	107	6,60	12	48
1.0.30	Лестничная клетка	25,3	100	2	2251,4	1200	1,9	2	107	6,60	12	48
1.0.31	Лифтовой холл	13,3	75	1	1775,3	1000	1,8	2	84	12,66	10	20
1.0.32	Помещение охраны	20,5	100	2	1824,3	1000	1,8	2	110	9,63	10	40
1.0.33	Газоаппаратная	27,5	150	1	7341,5	2600	2,8	3	159	6,25	25	75
1.0.34	Помещение для одевания выписывающихся	15	150	2	2002,2	1000	2,0	2	150	0,11	10	40
1.0.35	Помещение приёма передач	8,6	150	1	2295,9	2600	0,9	1	170	13,25	25	25
1.0.36	Помещение хранения уборочного инвентаря	3,4	100	1	605,1	600	1,0	1	99	0,85	6	6
1.0.37	Кладовая продуктов	8,4	100	1	1495,0	700	2,1	2	94	6,35	8	16
1.0.38	Душевая	1,9	200	1	676,3	600	1,1	1	177	11,28	6	6
1.0.39	Помещение временного хранения верхней одежды	11,1	75	1	1481,7	700	2,1	2	71	5,51	8	16
1.0.40	Гардероб персонала	5,6	150	1	1495,0	700	2,1	2	140	6,35	8	16
1.0.41	Помещение для бесед с врачами	19,3	200	1	6869,9	2600	2,6	3	227	13,54	25	75
1.0.42	Помещение временного использования одноразовой посуды	1,9	75	1	253,6	240	1,1	1	71	5,37	3	3
1.0.43	Лифтовой холл	13,3	75	1	1775,3	1000	1,8	2	84	12,66	10	20
1.0.44	Тамбур	12,9	100	1	2295,9	1200	1,9	2	105	4,53	12	24
1.0.45	Помещение АПС	2	200	1	711,9	700	1,0	1	197	1,67	8	8
1.0.46	Помещение АПС	2	200	1	711,9	700	1,0	1	197	1,67	8	8
1.0.47	Помещение СС	3	200	1	1067,9	1000	1,1	1	187	6,35	10	10
1.0.48	Помещение СС	3,5	200	1	1245,8	1200	1,0	1	193	3,68	12	12
1.0.49	Туалет	4,6	200	1	1637,4	700	2,3	2	171	14,50	8	16
1.0.50	Туалет	4,5	200	1	1601,8	700	2,3	2	175	12,60	8	16
ИТОГО, Вт												3791

На основании расчётных таблиц найдём суммарную мощность осветительной установки общего освещения с учётом коэффициента одновременности здания поликлиники:

$$P = 0,9 \cdot (3791 + 2787 + 3769 + 3671 + 4045 + 2617 + 3968 + 3859) = 25,7 \text{ (кВт)}.$$

Предварительно принимаем средневзвешенный коэффициент использования активной мощности 0,95 [5]. Тогда, коэффициент использования реактивной мощности составит 0,33.

Тогда, полная мощность:

$$Q = 0,33 \cdot 25,7 = 8,5 \text{ (квар)};$$
$$S = \sqrt{25,7^2 + 8,5^2} = 27,07 \text{ (кВА)}.$$

1.2 Расчёт аварийного освещения

Согласно ГОСТ Р 55842 –2013 «Освещение аварийное. Классификация и нормы» [3], помимо, установленных в ПУЭ [4], эвакуационного освещения и антипанического освещения, в местах постоянного нахождения людей более 20 человек на квадратный метр, требуется освещение безопасности.

Норма освещения безопасности составляет не менее 30 % от нормированной освещённости.

Так как, освещённость лампы светильника связана с её мощностью, мы можем снабдить источниками бесперебойного питания (ИБП) 30 % их количества.

Обратим внимание, что мощности ИБП нормируются по полной мощности, а не по активной.

Всего имеется восемь групп осветительных сетей. Тогда, для резерва одной группы, с учётом коэффициента надёжности 1,1, потребуется:

$$S_A = 0,3 \cdot 1,1 \cdot \frac{27,07}{8} = 1,12 \text{ (кВА)}.$$

Принимаем ИБП «Энергия Про» (арт. R-IBP-220-001) на пиковую мощность 2 кВА, рабочее номинальное напряжения 230 В, в количестве 8 штук. Стоимость одного комплекта составляет 42640 руб.

Итоговая стоимость резерва составит: 341 тыс. руб.

Также необходимо рассчитать эвакуационное освещение и освещение безопасности.

Согласно [13], нормированная освещённость аварийного освещения в этом случае составляет $E = 0,5$ (лк).

Этого достаточно для того, чтобы обеспечить и аварийное и антипаническое освещение.

Обратим внимание, что ПУЭ рекомендует производить освещение в непроизводственных помещениях люминесцентными лампами или лампами накаливания. Однако, не существует прямых запретов на использование ламп накаливания.

В России действует ФЗ № 161 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 года.

Данный документ запрещает использования ламп накаливания мощностью выше 100 Вт.

Действительно, необходимо отметить, что аварийное освещение может быть выполнено и лампами меньшей мощностью. Однако, сложившаяся инженерная практика показывает, что наиболее часто используются светодиодные светильники.

Произведём расчёт и для ламп накаливания, и для светодиодных ламп. Окончательное решение примем на основании технико-экономического сравнения.

Согласно обучающему пособию [20] для ламп накаливания и уже ранее

рассчитанному индексу помещения, имеем коэффициент использования осветительной установки $\eta_{oy} = 65 (\%)$.

Коэффициент запаса по стандарту для ламп накаливания составляет:

$$K_3 = 1,5 \text{ (o.e.)}.$$

Выберем расстояние между рядами $L = 4 \text{ (м)}$ и отступ от длинной стороны $l = 3,150 \text{ (м)}$.

Ориентировочное количество рядов по формуле (4):

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1 = \frac{42,3 - 2 \cdot 3,150}{4} + 1 = 10 \text{ (рядов)}.$$

Расчётное значение светового потока для ряда по формуле (5) равно:

$$\Phi_{расч} = \frac{E_{ав.} \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta_{oy}} = \frac{0,5 \cdot 1,5 \cdot 42,3 \cdot 151,8 \cdot 1,15}{10 \cdot 0,65} = 852 \text{ (лм)}.$$

Лампы накаливание следует рассматривать как точечные источники света.

Примем лампу ЛН-40 со световым потоком (предельным) 400 (лм) .

Откуда, кол-во светильников в ряду по формуле (6):

$$N = \frac{\Phi_{расч}}{n \cdot \Phi_l} = \frac{852}{400} = 2,1 \approx 2 \text{ (шт.)}.$$

Принимаем расстояние от короткой стороны $l = 10 \text{ (м)}$.

Тогда расстояние между светильниками составит:

$$L_A = \frac{A - 2l}{N - 1} = \frac{151,8 - 2 \cdot 20,9}{12 - 1} = 10 \text{ (м)}.$$

Пересчитаем реально создаваемую освещённость:

$$E_{ав.}^* = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_l \cdot R \cdot \eta_{oy}}{K_з \cdot S \cdot z} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 400 \cdot 10 \cdot 0,65}{1,5 \cdot 42,3 \cdot 151,8 \cdot 1,15} = 0,469 \text{ (лк)}.$$

Как видно, полученная освещённость превосходит требуемую не более чем на $\frac{0,469 - 0,5}{0,5} \leq 6,11\%$. Это допустимое отклонение потока.

Определим установленную мощность аварийной осветительной нагрузки:

$$P = P_{ном.} RN = 0,040 \cdot 10 \cdot 2 = 0,8 \text{ (кВт)}.$$

Стоимость одного светильника составляет 399 руб. Тогда, суммарная стоимость составит (на два этажа и подвал) 24 тыс. руб.

Определим показатели для светодиодного светильника.

Расчётное значение светового потока для ряда по формуле (5) равно:

$$\Phi_{расч} = \frac{E_{ав.} \cdot K_з \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta_{oy}} = \frac{0,5 \cdot 1,3 \cdot 42,3 \cdot 151,8 \cdot 1,15}{10 \cdot 0,95} = 505 \text{ (лм)}.$$

Примем светильник Rexant со световым потоком 450 лм, мощностью 24 Вт.

Пересчитаем реально создаваемую освещённость:

$$E_{ав.}^* = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_l \cdot R \cdot \eta_{oy}}{K_з \cdot S \cdot z} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 450 \cdot 10 \cdot 0,95}{1,3 \cdot 42,3 \cdot 151,8 \cdot 1,15} = 0,445 \text{ (лк)}.$$

Как видно, полученная освещённость превосходит требуемую не более чем на $\frac{0,445 - 0,5}{0,5} \leq 11\%$. Это допустимое отклонение потока.

Определим установленную мощность аварийной осветительной нагрузки:

$$P = P_{ном.} RN = 0,024 \cdot 10 \cdot 1 = 0,24 \text{ (кВт)}.$$

Стоимость одного светильника составляет 1176 руб. Тогда, суммарная стоимость составит (на два этажа и подвал) 35 тыс. руб.

Стоимость осветительной установки оказывается выше. Однако, данный светильник снабжен ИБП.

На осветительную установку потребуется не менее трёх ИБП «Iron Innova» мощностью 1 кВА, стоимостью 34 тыс. руб. (по данным магазина «СИТИЛИНК»), так как полная мощность составляет:

$$Q = 0,33 \cdot 0,8 = 0,264 \text{ (квар)};$$

$$S = 1,1 \cdot \sqrt{0,8^2 + 0,264^2} = 0,84 \text{ (кВА)}.$$

Итоговая стоимость осветительной установки, спроектированной по первой особой категории, составит 126 тыс. руб.

Найдём стоимость резерва одного киловатта мощности:

$$C_{ЛН} = \frac{126000}{0,8} = 157500 \text{ (руб./кВт)};$$

$$C_{РЕХ} = \frac{35000}{0,24} = 145800 \text{ (руб./кВт)}.$$

Таким образом, показано:

- стоимость осветительной установки, выполненной лампами

накаливания существенно ниже, чем для установки, выполненной светодиодными светильниками (24 тыс. руб. против 35 тыс. руб.);

- стоимость единовременных затрат осветительной установки, выполненной лампами накаливания существенно выше, чем для установки, выполненной светодиодными светильниками (126 тыс. руб. против 35 тыс. руб.);

- стоимость резерва одного киловатта мощности установки, выполненной светодиодными светильниками ниже (145,8 тыс. руб. против 157,5 тыс. руб.), то есть, отличается на 7,42 %.

Таким образом, учитывая, что норма амортизации для объектов электроэнергетики составляет 6,7 %, можно сделать вывод что сроки окупаемости не превысят одного года [16].

Данные по выбранным светильникам заносим в таблицу 2 (с. 20 настоящей работы).

Таблица 2 – Технические данные по выбранным светильникам

Тип светильника	$\Phi_H, \text{лм}$	$P_H, \text{Вт}$	$n, \text{шт.}$	$Ц^*, \text{руб.}$
1	2	3	4	5
V1-IA-70157-03000-6702840	3700	28	34	11171
V1-A0-00070-01A00-2002765	3150	27	57	8389
V1-A0-00070-01000-2002565	2600	25	61	4070
V1-IA-70072-03A00-6701865	2200	18	49	3385
V1-U0-00006-21S00-6501245	1200	12	27	2269
VA934418210	1000	10	36	1829
V1-R0-01011-10000-4401130	900	11	32	1602
V1-U0-00006-21S00-6500845	700	8	38	1523
V1-U0-00005-21S00-6500640	600	6	26	658
ТД Мегапром	240	3	14	365
REXANT (ав.)	450	24	30	1176
ИТОГО, тыс. руб.				1005

На основании полученных расчётов составляются монтажные планы.

В планах учтено, что:

- осветительные распределительные щитки должны располагаться, не менее чем на расстоянии 1 метра от окон;
- требуется собственный щиток аварийного освещения.

Дополнительно формируем розеточные сети собственных нужд, принимая:

- количество помещений: 138;
- установленная мощность 750 Вт на помещение при ПВ =60 % (для компьютеров и оргтехники).

1.3 Расчёт электрических нагрузок

Расчетные нагрузки определяем методом упорядоченных диаграмм, и результаты расчетов сводим в таблицу 3 (см. с. 24 настоящей работы).

Электроприемники разбиваем на подгруппы по узлам питания и производим расчет отдельно для каждой подгруппы.

Рассмотрим расчет на примере группы приемников электрической энергии № 1.А (см. таблицу 3 , с. 24 настоящей работы).

В эту группу вынесем специализированное оборудование поликлиники (РП1).

Эффективное число электроприемников данного отделения:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{э}} &= \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_n \right)^2}{\sum_{i=1}^n n P_n^2} = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum n P_n^2} = \\
 &= \frac{100,91^2}{2 \cdot 50,35^2 + 6,58^2 + 2 \cdot 0,23^2 + 24,01^2 + 2 \cdot 0,93^2 + 3,6^2 + 6,01^2 + \\
 &\quad + 8 \cdot 1,01^2 + 6 \cdot 0,15^2 + 22 \cdot 0,03^2} = \\
 &= \text{принимаем } 4, \text{ т.к. } t > 3 \text{ (шт.)}.
 \end{aligned}$$

Коэффициент расчетной нагрузки данной группы определяем по

кривым зависимости [9,] или по таблице 2.3 [12, таблица 2.3]: $K_p = f(n_{\Sigma}, K_{II})$.

Для $n_{\Sigma} = 4$ (шт.) и $K_{II.ср.взв} = 0,65$ (о.е.) получаем $K_p = 1,18$ (о.е.).

Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания ЭП:

$$\begin{aligned} P_p &= K_p \sum (K_{II} P_{ni}) = \\ &= 1,18 \cdot (70,49 + 4,61 + 0,28 + 16,81 + 0,74 + 2,16 + 3,60 + 1,62 + 0,46 + 0,14) = \\ &= 118,28 \text{ (кВт)}. \end{aligned}$$

Расчетная реактивная мощность Q_p для питающих сетей напряжением до 1 кВ при $n_{\Sigma} < 10$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} Q_p &= 1,1 \cdot K_p \sum (K_{II} P_{ni} \operatorname{tg}(\varphi_i)) = 1,18 \times \\ &\times (5287 + 3,46 + 0,09 + 12,61 + 0,46 + 0,71 + 0,73 + 2,80 + 0,22 + 0,24) = \\ &= 81,61 \text{ (квар)}. \end{aligned}$$

Тогда полная расчетная мощность группы:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{118,28^2 + 81,61^2} = 143,7 \text{ (кВА)}.$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{143,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 207,42 \text{ (А)}.$$

После определения расчетных мощностей всех потребителей, рассчитываем активную, реактивную и полную мощности всего больничного городка.

Для этого рассмотрим его как узел питания для всех групп и расчет сведем в таблицу 3 (см. с. 24 настоящей работы).

РП формируем следующим образом:

- РП1 – поликлиника;
- РП2 – корпуса обслуживания;
- РП3 – лечебные корпуса;
- РП4 – технические помещения;
- РП5 – освещение территории.

После определения осветительной и силовой нагрузок путем их суммирования находим итоговые значения соответственно активной, реактивной и полной мощностей больничного городка, а также расчетный ток.

Полученные результаты заносим в таблицу 3 (см. с. 24 настоящей работы) итоговой строкой.

Значение полной мощности получилось 143,7 кВА.

Таблица 3 – Расчетные значений электрических величин больничного городка

ПВ	Наименование	n	Уст. мощность		K _И	cos(φ)	tg(φ)	Ср. мощность		n _Э	K _Р	Расчётные данные			
			P _У	P _Σ				P _{СР}	Q _{СР}			P _Р	Q _Р	S _Р	I _Р
%		о. е.	кВт		о. е.			кВт	квар	о. е.		кВт	квар	кВА	А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП (ПОЛИКЛИНИКА)															
ГРУППА А (СПЕЦ. ОБОРУДОВАНИЕ)															
60	Рентгеновский комплекс	2	65	100,70	0,7	0,8	0,75	70,49	52,87	4	1,18	n _Э <10			
	Маммограф	1	8,5	6,58	0,7	0,8	0,75	4,61	3,46						
	Электрокардиографическая установка	2	0,3	0,46	0,6	0,95	0,33	0,28	0,09						
	Флюорографическая установка	1	31	24,01	0,7	0,8	0,75	16,81	12,61						
	Стоматологическая установка	2	1,2	1,86	0,4	0,85	0,62	0,74	0,46						
40	Дестиллятор	1	5,7	3,60	0,6	0,95	0,33	2,16	0,71						
	Автоклав	1	9,5	6,01	0,6	0,98	0,20	3,60	0,73						
	Стерилизатор	8	1,6	8,10	0,2	0,5	1,73	1,62	2,80						
	Облучатель бактерицидный	6	0,24	0,91	0,5	0,9	0,48	0,46	0,22						
	Негатоскоп	22	0,05	0,70	0,2	0,5	1,73	0,14	0,24						
ИТОГО ПО А		46	0,05-65	152,93	0,66	m>3		100,91	74,19			118,28	81,61	143,70	207,42
ГРУППА Б (ОБЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ)															
100	Вытяжные шкафы	2	3,1	6,20	0,2	0,5	1,73	1,24	2,15	18	1,12	n _Э >10			
40	Сушильные шкафы	2	2,4	3,04	0,8	0,9	0,48	2,43	1,18						
	Специальные вытяжные шкафы (физиотерапевтические)	2	7,9	9,99	0,2	0,5	1,73	2,00	3,46						
	Автоматические сушители рук	24	1,0	15,18	0,2	0,5	1,73	3,04	5,26						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
100	Вентилятор	10	0,45	4,50	0,8	0,8	0,75	3,60	2,70							
ИТОГО ПО Б		40	0,45-7,9	38,91	0,32	m>3		12,30	14,74			13,78	14,74	20,18	29,13	
ГРУППА В (ОСОБАЯ КАТЕГОРИЯ)																
100	Холодильные установки	4	0,15	0,60	0,70	0,80	0,75	0,42	0,32	1	1,00	nэ<10*				
100	Столы лабораторные	1	4	4,00	0,80	0,92	0,43	3,20	1,36							
ИТОГО ПО В		5	0,15-4	4,60	0,79	m>3		3,62	1,68					4,00	1,85	4,41
ГРУППА Г (ОСВЕЩЕНИЕ И СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ)																
100	Общее освещение 1 этажа	674	0,0208	14,019	0,90	0,90	0,48	12,62	6,11	351	1,00	nэ>10				
	Общее освещение 2 этажа	698	0,0211	14,728	0,90	0,90	0,48	13,26	6,42							
	Освещение техн. помещений	1440	0,0120	17,28	0,15	0,90	0,48	2,59	1,26							
	Аварийное освещение	30	0,0240	3,20	0,15	0,90	0,48	0,48	0,23							
60	Собственные нужды	138	0,75	79,01	0,80	0,90	0,48	63,21	30,61							
ИТОГО ПО Г		3028	0,012-0,75	128,24	0,72	m>3		92,15	44,63			92,15	44,63	102,39	147,79	
ИТОГО ПО РП 1		3119	0,012-65	324,68	-								228,21	142,83	269,23	388,59
РП 2 (КОРПУСА ОБСЛУЖИВАНИЯ)																
-	Корпус молочной кухни	14	6,8	95,2	0,60	0,96	0,29	57,12	16,66	14	1,00	57,12	16,66	59,50	85,88	
	Корпус столовой	9	0,5	4,5	0,60	0,85	0,62	2,70	1,67	9	1,01	2,73	1,84	3,29	4,75	
	Корпус пищеблока	12	5,00	60,0	0,60	0,98	0,20	36,00	7,31	12	1,00	36,00	7,31	36,73	53,02	
	Корпус лаборатории	3	4,00	12,0	0,80	0,92	0,43	9,60	4,09	3	1,00	9,60	4,50	10,60	15,30	
	Корпус овощехранилища	8	0,5	4,0	0,20	0,50	1,73	0,80	1,39	8	1,48	1,18	1,52	1,93	2,79	
	Корпус прачечной	4	2,00	8,0	0,65	0,80	0,75	5,20	3,90	4	1,10	5,72	4,29	7,15	10,32	
ИТОГО ПО РП 2		50	0,5-6,8	183,7	0,61	m>3		111,42	35,02	33	1,00	111,42	35,02	116,79	168,58	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП 3 (ЛЕЧЕБНЫЕ КОРПУСА)															
-	Лечебный корпус №1	13	1,5	19,5	0,60	0,95	0,33	11,70	3,85	13	1,00	11,70	3,85	12,32	17,78
	Лечебный корпус №2	44	2,7	118,8	0,60	0,95	0,33	71,28	23,43	44	1,00	71,28	23,43	75,03	108,30
	Инфекционный корпус	11	0,8	8,8	0,60	0,95	0,33	5,28	1,74	11	1,00	5,28	1,74	5,56	8,02
ИТОГО ПО РП 3		68	0,8-2,7	147,1	0,60	m>3		88,26	29,01	61	1,00	88,26	29,01	92,91	134,10
РП 4 (ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ)															
-	Автоклав	3	12,50	37,5	0,60	0,98	0,20	22,50	4,57	3	1,22	27,45	5,03	27,91	40,28
	Склад №1	8	0,25	2,0	0,20	0,5	1,73	0,40	0,69	8	1,48	0,59	0,76	0,97	1,39
	Станция генерации медицинского кислорода 36 кВтч (круглосуточно)	6	0,25	1,5	0,20	0,5	1,73	0,30	0,52	6	1,62	0,49	0,57	0,75	1,08
	Помещение котельной	14	4,00	56,0	0,80	0,8	0,75	44,80	33,60	14	1,00	44,80	33,60	56,00	80,83
	Гараж	2	0,40	0,8	0,20	0,6	1,33	0,16	0,21	2	1,91	0,31	0,23	0,39	0,56
	Пропускной пункт	2	1,95	3,9	0,60	0,85	0,62	2,34	1,45	2	1,33	3,11	1,60	3,50	5,05
ИТОГО ПО РП 4		35	0,25-12,5	101,7	0,69	m>3		70,50	41,04	15	1,00	70,50	41,04	81,58	117,75
РП 5 (ОСВЕЩЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ)															
-	Уличное освещение	30	0,2	6,0	0,60	0,91	0,46	3,60	1,64	30	1,00	3,60	1,80	4,03	5,81
ИТОГО ПО РП5												3,60	1,80	4,03	5,81
ИТОГО БЕЗ ОСВЕЩЕНИЯ												406,24	203,27	454,26	655,67
ИТОГО ПО ТЕРРИТОРИИ ГОРОДКА С ОСВЕЩЕНИЕМ												501,99	249,71	560,67	809,26

Вывод: как можно видеть на освещение и собственные нужды тратится 147,79 кВА, что составляет 18,26 % от общей мощности, что подтверждает одну из заявленных целей работы о создании эффективной осветительной установки.

2 Обоснование выбора напряжений и конфигурации сети

Выбор напряжения распределительной сети тесно связан с решением вопросов электроснабжения предприятия.

Больничный городок расположен в городе Лянтор, в котором распределения принято равным 10 кВ, поэтому питание комплектной трансформаторной подстанции (КТП) также принимается 10 кВ.

Питание КТП городка выполнено от подстанции напряжением 110/35/10 кВ (Россети Тюмень). На подстанции установлено два трансформатора мощностью 25000 кВА.

На подстанции установлено два трансформатора мощностью 2500 кВА.

Внутрибольничное электроснабжение принимается на напряжении 400/230 В (ГОСТ 29322-92), так как технологическое оборудование комплектуется в настоящее время электрооборудованием и системами управления с номинальным напряжением 380 В, а источники света осветительной установки принимаются на напряжении 220 В, чем и продиктован выбор напряжения 400/230 В с глухозаземленной нейтралью [12, 14, 17, 18, 19].

На выбор схемы и конструктивное исполнение сети оказывают влияние такие факторы, как категория надежности приемников электроэнергии, режимы их работы и размещение по площади, номинальные токи и напряжения, микроклимат помещения и т.д.

Для питания ЭП применяется трехфазную пятипроводную сеть переменного тока напряжением 400/230 В частоты 50 Гц.

Обратим внимание, что схема соединения «звезда с нейтралью» позволяет использовать два уровня напряжений. Поэтому, однофазные потребители поликлиники, следует распределить таким образом, чтобы перекос по фазам не превышал 3-5 %.

Прокладка кабеля в коробах трактуется удобностью монтажа и ремонта.

Более того, это обеспечивает сменяемость электропроводки, что

является прямым требованием п. 7.1.37 ПУЭ [4].

Однако, обратим внимание, что прокладка в коробах наиболее характерна для промышленных предприятий, с применением шинопровода.

В поликлиники электропроводку следует делать скрытой.

Электропроводку аварийного освещения выполняем по стропильной системе кабелем.

Более того требуется, требуется отдельная распределительная сеть для освещения безопасности и для освещения эвакуации с независимым источником питания, согласно п. 6.1.1-6.1.3 ПУЭ. Настоящие требования установлены для помещений с постоянным нахождением людей не менее 20 человек.

Рабочее освещение, согласно п. 6.4.1 ПУЭ следует питать по независимым линиям. Для рабочего освещения будут применяться кабели в перекрытиях с кабельными ответвлениями.

Вывод: произведено обоснование выбора напряжения и конфигурации схемы.

3 Выбор числа и мощности трансформаторов подстанции

3.1 Выбор числа силовых трансформаторов

В нашем случае, присутствуют все три категории надёжности:

- основная категория надёжности – II категория надёжности;
- специальное оборудование – I категория надёжности, т.к. отвечает основной цели предприятия;
- сервисное обслуживающее оборудование (персональные компьютеры, оргтехника и т.д.) – III категория надёжности;
- рабочее освещение – II категория надёжности, согласно п. 6.1.21 (для общественных помещений);
- аварийное освещение безопасности и эвакуационное освещение – I особая категория надёжности, согласно ПУЭ п. 6.1.23-6.1.24.

Аварийное освещение безопасности требуется поскольку скопление людей превышает 20 человек на квадратный метр.

Таким образом, большинство электроприёмников относятся ко II и III группам, при этом их приблизительно поровну. Потребители I категории составляют около 38 % (группа А).

Однако, учитывая высокую плотность нагрузки (более 0,5 кВт/м²), а также, что рабочее освещение следует отнести ко второй категории, независимо от наличия окон, принимаем решение о проектировании двухтрансформаторной подстанции [18, 19].

3.2 Выбор мощности силовых трансформаторов

Трансформаторная подстанция может проектироваться, как с одним трансформатором, так и с двумя. Выбор трансформаторов должен осуществляться с учётом потерь мощности в трансформаторах, которые принимаются равными [7]:

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0,02S_p ; \\ \Delta Q &= 0,1S_p .\end{aligned}\tag{8}$$

Тогда имеем:

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0,02S_p = 0,02 \cdot 560,67 = 11,21 \text{ (кВт)} ; \\ \Delta Q &= 0,1S_p = 0,1 \cdot 560,67 = 24,97 \text{ (квар)} ; \\ P'_p &= P_p + \Delta P = 501,99 + 11,21 = 513,21 \text{ (кВт)} ; \\ Q'_p &= Q_p + \Delta Q - Q_{KV} = 249,71 + 24,97 - 0 = 274,68 \text{ (квар)} ; \\ S'_p &= \sqrt{P_p'^2 + Q_p'^2} = \sqrt{513,21^2 + 274,68^2} = 582,09 \text{ (кВА)} .\end{aligned}$$

Мощность одного трансформатора для n -трансформаторной подстанции:

$$S_{mp} \geq \frac{S_{cp.кв.}}{nK_3} = \frac{582,09}{2 \cdot 0,7} = 415,78 \text{ (кВА)} .$$

Выбираем для сравнения трансформаторы мощностью 400 и 630 кВА.

Обращаем внимание, что трансформатор мощностью 400 кВА вполне может подойти по систематическим и аварийным перегрузкам.

Коэффициент загрузки K_1 :

$$\begin{aligned}K_1 &= \frac{582,09}{2 \cdot 630} = 0,46 < 0,7 \text{ (о. е.)} ; \\ K_1 &= \frac{582,09}{2 \cdot 400} = 0,73 > 0,7 \text{ (о. е.)} .\end{aligned}$$

Коэффициенты аварийной перегрузки:

$$\begin{aligned}K_2 &= \frac{582,09}{630} = 0,92 < 1,0 \text{ (о. е.)} ; \\ K_2 &= \frac{582,09}{400} = 1,45 > 1,4 \text{ (о. е.)} .\end{aligned}$$

Согласно ГОСТ 14092-95 на масляные трансформаторы, выбранные

варианты проходят по коэффициенту загрузки; трансформатор мощностью 400 кВА имеет недостаточный коэффициент аварийной перегрузки, а трансформатор, мощность 630 кВА загружен на 46 %.

Однако, для двухтрансформаторной подстанции, коэффициент загрузки должен находиться в пределах от 0,6 до 0,76 о.е. Аварийная перегрузка может быть скомпенсирована отключением потребителей III категории. Коэффициент аварийной перегрузки составит:

$$K_2 = 0,60 \cdot 1,45 = 0,87 < 1,4 \text{ (о. е.)}.$$

Подробное исследование было проведено в Белорусском национальном техническом университете и представлено в статье «Оценка показателей качества и энергоэффективности силовых распределительных трансформаторов, применяемых на промышленных предприятиях» [6].

Различные типы трансформаторов представлены в таблице 4 (см. с. 31 настоящей работы). Более того, коэффициент загрузки, соответствующий максимуму использования КПД, зависят от типа трансформатора. Эти зависимости представлены в таблице 5 (см. с. 32 настоящей работы).

Таблица 4 – Различные типы трансформаторов

Тип	$S_H, \text{кВА}$	Особенности конструкции
ТНЭЗ	630; 1000; 1600	Герметичный, защищённый. Обмотки из меди. В качестве изолирующего и охлаждающего диэлектрика применяется негорючая жидкость Midel 7131.
ТНЭЗ А		То же, с обмотками из алюминия.
ТМГ	630; 1000	Герметичный, маслонаполненный, с обмотками из алюминия.
ТМГ 11	630; 1000; 1600	То же, с меньшими потерями ХХ.
ТМГ 12	630; 1000	То же, с меньшими потерями КЗ, чем ТМГ 11.
ТМГ 15		То же, с меньшими потерями ХХ, чем ТМГ 12.
ТМГ 25		Герметичный, маслонаполненный, с обмотками из алюминия. Вторичная обмотка из фольги с бумажной изоляцией.
ТМЗ	630; 1000; 1600	Маслонаполненный, защищённый.
ТМ		Маслонаполненный, открытый, с расширителем.

Таблица 5 – Коэффициенты загрузки, соответствующие максимуму КПД

Коэффициент загрузки	S_H , кВА	Марка трансформатора								
		ТНЭЗ	ТНЭА	ТМГ	ТМГ 11	ТМГ 12	ТМГ 15	ТМГ 21	ТМЗ	ТМ
β_{TP} – оптимальный	630	0,53	0,44	0,37	0,38	0,34	0,33	-	0,40	0,41
	1000	0,47	0,38	0,39	0,36	0,32	0,30	0,33	0,39	0,43
	1600	0,50	0,41	-	0,36	-	-	0,35	0,40	0,45
β'_{TP} – макс. КПД	630	0,52	0,43	0,36	0,37	0,34	0,32	-	0,39	0,40
	1000	0,45	0,38	0,38	0,35	0,32	0,29	0,33	0,39	0,42
	1600	0,48	0,40	-	0,35	-	-	0,34	0,39	0,44
β''_{TP} – макс. использование	630	0,9	0,76	0,64	0,65	0,59	0,57	-	0,68	0,70
	1000	0,80	0,66	0,67	0,62	0,56	0,51	0,58	0,68	0,73
	1600	0,86	0,71	-	0,62	-	-	0,60	0,69	0,77

Как видно, коэффициенты загрузки (оптимальные, соответствующие максимуму КПД и максимуму годового использования при 3-х сменной работе) лучше для трансформатора ТМГ-400/10/0,4, чем для трансформатора ТМГ-630/10/0,4.

В дальнейшем будем рассматривать два этих варианта.

Сведём данные трансформаторов в таблицу 6 (см. с. 32 настоящей работы).

Таблица 6 – Параметры выбираемых трансформаторов

Тип	S_H	U_{BH}	U_{HH}	P_{xx}	$P_{кз}$	$u_{кз}$	i_{xx}	C_m		
	кВА	кВ		кВт		%		*	**	Итого
ТМГ - 630/10	630	10	0,4	1,01	7,6	5,5	1,0	1468	734	2202
ТМГ- 400/10	400	10	0,4	0,75	5,4	4,5	1,0	1428	504	1932

Примечание:
 *) цена КТП, тыс. руб.;
 **) цена трансформатора, тыс. руб.;
 ***) цены ОАО «НЕВА-ЭЛЕКТРОТЕХ» по состоянию на сентябрь 2024 г.

Окончательный выбор следует производить на основании технико-экономического сравнения выбранных вариантов. В качестве критерия следует принять наименьшие приведённые затраты, включающие затраты на техническое обслуживание и ремонт трансформаторов, их эксплуатацию (годовые потери) и амортизацию [7,14].

3.3 Технико-экономическое сравнение выбранных вариантов

Определим потери электрической энергии в трансформаторах:

$$\begin{aligned} \Delta W_{400} &= nP_{xx} t_p + \frac{1}{n} P_{кз} \frac{S_{макс.}^2}{S_{ном}^2} \tau = 2 \cdot 0,75 \cdot 6000 + \frac{1}{2} \cdot 5,4 \cdot \frac{1,25^2 \cdot 582,09^2}{400 \cdot 400} \cdot 2336 = \\ &= 28697 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{630} &= nP_{xx} t_p + \frac{1}{n} P_{кз} \frac{S_{макс.}^2}{S_{ном}^2} \tau = 2 \cdot 1,01 \cdot 6000 + \frac{1}{2} \cdot 7,6 \cdot \frac{1,25^2 \cdot 582,09^2}{630^2} \cdot 2336 = \\ &= 23295 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}. \end{aligned}$$

Время наибольших потерь определяется, как:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{5000}{10^4} \right)^2 \cdot 6000 = 2336 \text{ (ч)}.$$

Время работы трансформатора для 3-х сменного графика составляет

$$t_p = 6000 \text{ (ч)}.$$

Определим стоимость электрических потерь по тарифу 3,4 руб./ (кВт·ч):

$$I_{э/400} = 28687 \cdot 3,4 = 98 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$I_{э/630} = 23325 \cdot 3,4 = 79 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Определим величину амортизационных затрат по норме амортизации 6,7 %:

$$I_{A/400} = \frac{6,7}{100} \cdot 2 \cdot 1932 = 259 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$I_{A/630} = \frac{6,7}{100} \cdot 2 \cdot 2202 = 295 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Норму величины затрат на ремонт и обслуживания электрооборудования примем, исходя из документа «Методические рекомендации по определению нормативной величины затрат на техническое обслуживание и ремонт энергооборудования, зданий и сооружений электростанций. Со 34.20.609-2003» [16].

Определим величину затрат на ремонт и обслуживание электрооборудования по норме 3 %:

$$I_{P/400} = \frac{3}{100} \cdot 2 \cdot 1932 = 116 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$I_{P/630} = \frac{3}{100} \cdot 2 \cdot 2202 = 132 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Определим приведённые затраты.

Примем, согласно постановлению Правительства РФ от 19 декабря 2016 г. № 1401 «О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей», нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для объектов электроэнергетики равным 0,12:

$$Z_{400} = 0,12 \cdot 2 \cdot 1932 + 116 + 259 + 98 = 937 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$Z_{1000} = 0,12 \cdot 2 \cdot 2202 + 132 + 295 + 79 = 1035 \text{ (тыс. руб.)}.$$

По наименьшим приведенным затратам принимаем к установке 2 трансформатора типа ТМГ-400/10/0,4 по СТО 15352615-023-2011 (ЮФО «ИНДУСТРИЯ»). Устанавливаем в КТП 2БКТП-400/10/0,4 («РУСТРАНС», арт. 3818-Т2-ВВ), стоимостью 1099 тыс. руб.

Итоговая стоимость трансформаторов и КТП с учётом транспортных расходов составит:

$$Ц = 1,15 \cdot (2 \cdot 504 + 1428) = 2801 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Вывод по разделу. Единовременные затраты на КТП с трансформаторами 630 кВА составят 3376 тыс. руб., то есть отличаются на 17 %.

4 Расчёт и выбор компенсирующих устройств

Средневзвешенный коэффициент мощности потребителей составляет:

$$\cos(\varphi) = \frac{513,21}{582,09} = 0,88 \text{ (о. е.)}.$$

Тогда коэффициент реактивной мощности составляет:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\sqrt{1-0,88^2}}{0,88} = 0,53 \text{ (о. е.)}.$$

Однако, согласно приказу Минпромэнерго РФ № 380 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электроэнергии» [5], коэффициент реактивной мощности в сетях 0,4 кВ составляет 0,33 (о.е.).

Рассчитаем требуемую мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{КУ} = Q_{\max} - \operatorname{tg} \varphi_n P_{\text{нагр.}} = 274,68 - 0,33 \cdot 513,81 = 105,32 \text{ (квар)}.$$

Выбираем две конденсаторные установки на каждую секцию шин УКМ58-0,4-120-10 У3 стоимостью 99 тыс. руб. (ОАО «ЭНЕРГОПУСК»).

Конденсаторная установка должна быть защищена предохранителем [8].

Номинальный ток установки составляет:

$$I_{HKУ} = \frac{120}{1,73 \cdot 0,4} = 173,4 \text{ (А)}.$$

Ток, проходящей по одной фазе в 1,73 раза меньше 100,24 А.

Ток, проходящий через один конденсатор (соединение треугольником) в шесть раз меньше, т.е. 16,7 А.

Исходя из этого выбираем предохранитель с запасом 2,5, т.е. на ток 41,8 А. На всю установку принимаем 433,5 А.

Выбираем для защиты конденсаторов на две установки 12 предохранителей ПН2-100-20-У3 КЭАЗ, общей стоимостью 5724 руб. Для защиты установок выбираем два предохранителя ПН2-600-500-У3 КЭАЗ, общей стоимостью 4274 руб.

С учётом компенсации реактивной мощности расчётная мощность составит:

$$S'_p = \sqrt{P_p'^2 + Q_p'^2} = \sqrt{513,81^2 + (274,68 - 120)^2} = 536,01 \text{ (кВА)}.$$

Коэффициент загрузки и аварийной перегрузки:

$$K_1 = \frac{536}{2 \cdot 400} = 0,67 < 0,7 \text{ (о. е.)};$$

$$K_2 = \frac{536}{400} = 1,34 < 1,40 \text{ (о. е.) (0,80 при откл. потреб. III категории)}.$$

Таким образом, перевыбор трансформатора не требуется.

Вывод: коэффициент загрузки трансформатора стремится к оптимальному значению для трансформаторов марки ТМГ, при отключении неответственных потребителей.

Итоговая стоимость с учётом транспортных расходов составит:

$$Ц = 1,15 \cdot (2 \cdot 99000 + 5724 + 4274) = 239 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Обе конденсаторные установки устанавливаем в ячейку КРУ низшего напряжения в КТП.

5 Выбор проводников и кабелей потребителей

5.1 Определение местоположения ТП

Определение центра электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия необходимо для поиска места нахождения ГПП.

Также, ЦЭН, рассчитывают для построения картограммы нагрузок.

Построение картограммы производится на основании результатов определения расчетных нагрузок каждого здания. Она строится из условия, что площади кругов в выбранном масштабе являются расчетными нагрузками зданий [14,17,19].

Результаты расчетов сведем в таблицу 7 (см. с. 39 настоящей работы).

Выбираем оси координат с нулём в левом нижнем углу.

Координаты центра электрических нагрузок участка определяются по формулам:

$$\begin{aligned}x_0 &= \frac{\sum P_{P.C.i} x_i}{\sum P_{P.C.i}}; \\y_0 &= \frac{\sum P_{P.C.i} y_i}{\sum P_{P.C.i}},\end{aligned}\tag{9}$$

где x_i , y_i – координаты ЦЭН для i -го участка, мм;

$P_{P.C.i}$ – расчетная нагрузка i -го участка, кВт.

Таблица 7 – Расчет центра электрических нагрузок

№ потребителя	Наименование	P, кВт	X, мм	Y, мм	L, мм
1	2	3	4	5	6
1	Поликлиника	228,21	130946	37755	116677
2	Лечебный корпус №1	11,70	66009	106661	132266
3	Лечебный корпус №2	71,28	126921	111295	146602
4	Инфекционный корпус	5,28	63885	172206	199935
5	Корпус лаборатории	9,60	100359	77541	86286
6	Корпус пищеблока	36,00	14406	162022	239230
7	Корпус столовой	2,73	17571	145027	219070
8	Корпус молочной кухни	57,12	18650	199109	272073
9	Корпус овощехранилища	1,18	65914	252461	278161
10	Корпус прачечной	5,72	98773	222268	229427
11	Помещение котельной	44,80	21810	257380	327184
12	Автоклав	27,45	98773	211396	218555
13	Склад №1	0,59	91958	151113	151457
14	Станция генерации медицинского кислорода 36 кВтч (круглосуточно)	0,49	125563	147373	181322
15	Пропускной пункт	3,11	12511	114591	193694
16	Гараж	0,31	94974	259727	263087
ИТОГО		505,57	91614	115100	-

Обращаем внимание, что расчёт длины рассчитывается как сумма расстояний от ЦЭН, а не как диагональ.

Как можно видеть, КТП отлично располагается около подъездных путей.

КТП располагаем на востоке, пристроенным с наружной установкой на расстоянии, согласно ПУЭ, 3 метра от здания.

В последующем, и КТП, и здания будут охвачены одним контуром заземления.

5.2 Выбор кабелей крупных потребителей

Выбор кабелей осуществляется по условиям допустимого нагрева с проверкой по потере напряжения.

Ввод на все потребители (здания) принимаем трёхфазный с нулём.

Приведём пример расчёта для потребителя №1 – Поликлиника.

Расчётный ток трёхфазной сети равен 388,59 А.

Выбираем кабель марки ААбл-1 сечением 5×240 мм² с длительно допустимым током (прокладка в земле) 389 А.

Напоминаем, что потребитель питается со стороны трансформатора четырёхпроводной схемы, поэтому, при наличие защитного проводника, сеть пятипроводная.

Удельные сопротивления кабеля равны:

$$R_{0,y\partial} = 0,129 \text{ Ом/км};$$

$$X_{0,y\partial} = 0,058 \text{ Ом/км}.$$

Расчётная длина до ВРУ от РУ НН составляет 0,117 км.

Сопротивления кабеля равны:

$$R_0 = L_1 R_{0,y\partial} = 0,129 \cdot 0,117 = 0,015093 \text{ (Ом)};$$

$$X_0 = L_1 X_{0,y\partial} = 0,058 \cdot 0,117 = 0,006786 \text{ (Ом)}.$$

Потеря напряжения кабеля составит:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_1 L_1}{100} (R_0 \cos(\varphi_0) + X_0 \sin(\varphi_0)) = \frac{1,73 \cdot 388,6 \cdot 0,117}{100} \times \\ \times (0,129 \cdot 0,86 + 0,058 \cdot 0,504) = 2,774 \text{ (\%)}.$$

Как видно потеря в кабеле не превышает 5 %.

Выбираем остальные кабели и заносим данные в таблице 8 (см. с. 44 настоящей работы).

Как можно видеть не все проводники прошли по допустимой потере напряжения. Кабели молочной кухни, пищеблока, лечебного корпуса №1, автоклава и помещения котельной были перевыбраны.

Обращаем внимание на то, что все общественные здания выполняются пятипроводной сетью, технические помещения выполняем четырёхпроводной сетью, уличное освещение – трёхпроводной.

5.3 Выбор кабелей ответственных потребителей поликлиники

Ответственные потребители поликлиники выполняются трёхпроводной однофазной или пятипроводной трёхфазной сетями. Последний проводник – РЕ. К трёхфазным потребителям относятся: рентгеновский комплекс, маммограф, флюорографическая установка, стоматологическая установка, дистиллятор и автоклав. Остальные потребители однофазные. Согласно требованиям пожарной безопасности, кабели должны быть из негорючих материалов.

Потерю напряжения считаем для наиболее удаленного потребителя группы.

Приведём пример расчёта для трёхфазного потребителя №1 (рентгеновский комплекс).

Ток группы:

$$I_P = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot \cos(\varphi_1) \cdot U_1 \cdot n} = \frac{70,49}{0,80 \cdot 1,73 \cdot 0,4 \cdot 2} = 63,59 (A).$$

Выбираем кабель марки ВВГнг(А)-FRLSLTx сечением 5×10 мм² с длительно допустимым током (прокладка в воздухе/трубе) 74 А.

Удельные сопротивления кабеля равны:

$$R_{0,уд} = 1,83 \text{ Ом/км};$$
$$X_{0,уд} = 0,073 \text{ Ом/км}.$$

Расчётная длина до потребителя от ВРУ составляет 0,191 км.

Сопротивления кабеля равны:

$$R_0 = L_1 R_{0,уд} = 1,83 \cdot 0,191 = 0,34953 \text{ (Ом)};$$

$$X_0 = L_1 X_{0,уд} = 0,073 \cdot 0,191 = 0,013943 \text{ (Ом)}.$$

Потеря напряжения кабеля составит:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_1 L_1}{100} (R_0 \cos(\varphi_0) + X_0 \sin(\varphi_0)) = \frac{1,73 \cdot 63,59 \cdot 0,191}{100} \times \\ \times (1,83 \cdot 0,80 + 0,073 \cdot 0,60) = 8,347 \text{ (\%)}.$$

Как видно потеря в кабеле превышает 5 %.

Более того, суммарная потеря в линии от ТП:

$$\Delta U = 8,347 + 2,774 = 11,121 \text{ (\%)}.$$

Выбираем кабель марки ВВГнг(А)-FRLSLTx сечением 5×50 мм².

Удельные сопротивления кабеля равны:

$$R_{0,уд} = 0,387 \text{ Ом/км};$$

$$X_{0,уд} = 0,063 \text{ Ом/км}.$$

Потеря напряжения кабеля составит:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_1 L_1}{100} (R_0 \cos(\varphi_0) + X_0 \sin(\varphi_0)) = \frac{1,73 \cdot 63,59 \cdot 0,191}{100} \times \\ \times (0,387 \cdot 0,80 + 0,063 \cdot 0,60) = 1,956 \text{ (\%)}.$$

Суммарная потеря в линии от ТП:

$$\Delta U = 1,956 + 2,774 = 4,73 (\%).$$

Таким образом, потеря напряжения не превышает 5 %.

Приведём пример расчёта для однофазного потребителя.

Рассчитаем стерилизатор.

Ток группы:

$$I_P = \frac{P_P}{\cos(\varphi_1) \cdot U_1 \cdot n} = \frac{1,62}{0,50 \cdot 0,22} = 14,72 (A).$$

Выбираем кабель марки ВВГнг(А)-FRLSLTx сечением $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$ с длительно допустимым током (прокладка в воздухе/трубе) 34 А.

Удельные сопротивления кабеля равны:

$$R_{0, \text{уд}} = 7,41 \text{ Ом/км};$$

$$X_{0, \text{уд}} = 0,116 \text{ Ом/км}.$$

Расчётная длина до потребителя от ВРУ составляет 0,028 км.

Потеря напряжения кабеля составит:

$$\Delta U = \frac{2I_1 L_1}{100} (R_0 \cos(\varphi_0) + X_0 \sin(\varphi_0)) = \frac{2 \cdot 14,72 \cdot 0,028}{100} \times \\ \times (7,41 \cdot 0,50 + 0,116 \cdot 0,87) = 0,825 (\%).$$

Как видно потеря в кабеле не превышает 5 %.

Сведём расчёт в таблицу 9 (см. с. 48 настоящей работы).

Таблица 8 – К выбору проводников крупных потребителей

Наименование	I_p	Марка	Предварительный выбор							Окончательный выбор			
			S	I_σ	R_0	X_0	$\cos(\varphi)$	ΔU	L	S	R_0	X_0	ΔU
			$мм^2$	A	$Ом/км$	-	%	$км$	$мм^2$	$Ом/км$	%		
Поликлиника	388,59	ААбл-1	5×240	389	0,129	0,058	0,86	2,774	0,117	5×240	0,129	0,058	2,774
Корпус молочной кухни	85,88		5×25	102	1,24	0,066	0,96	12,875	0,272	5×70	0,443	0,061	4,711
Корпус столовой	4,75		5×16	79	1,94	0,068	0,85	0,799	0,219	5×16	1,94	0,068	0,799
Корпус пищеблока	53,02		5×16	79	1,94	0,068	0,98	11,070	0,239	5×35	0,69	0,064	3,983
Корпус лаборатории	15,30		5×16	79	1,94	0,068	0,92	1,090	0,086	5×16	1,94	0,068	1,090
Корпус овощехранилища	2,79		5×16	79	1,94	0,068	0,50	0,363	0,278	5×16	1,94	0,068	0,363
Корпус прачечной	10,32		5×16	79	1,94	0,068	0,80	1,719	0,229	5×16	1,94	0,068	1,719
Лечебный корпус №1	17,78		5×16	79	1,94	0,068	0,95	1,998	0,132	5×16	1,94	0,068	1,998
Лечебный корпус №2	108,30		5×35	126	0,89	0,064	0,95	6,263	0,147	5×50	0,62	0,063	4,405
Инфекционный корпус	8,02		5×16	79	1,94	0,068	0,95	1,363	0,200	5×16	1,94	0,068	1,363
Автоклав	40,28		5×16	79	1,94	0,068	0,98	7,683	0,219	5×35	0,69	0,064	2,764
Склад №1	1,39		5×16	79	1,94	0,068	0,50	0,099	0,151	5×16	1,94	0,068	0,099
Станция генерации медицинского кислорода 35 кВтч	1,08		5×16	79	1,94	0,068	0,50	0,092	0,181	5×16	1,94	0,068	0,092
Помещение котельной	80,83		5×25	102	1,24	0,066	0,80	12,435	0,327	5×70	0,443	0,061	4,713
Гараж	0,56		5×16	79	1,94	0,068	0,60	0,081	0,263	5×16	1,94	0,068	0,081
Пропускной пункт	5,05	5×16	79	1,94	0,068	0,85	0,751	0,194	5×16	1,94	0,068	0,751	
Уличное освещение	5,81	СИП-4	3×16	100	2,448	0,067	0,91	3,047	0,510	3×16	2,448	0,067	3,047

Обратим внимание на то, что электропроводка крупных потребителей выполняется кабелем в траншее, а уличное освещение по воздуху, кабелем СИП-4.

5.4 Выбор кабелей групповых сетей

Групповые сети освещения подключаем к разным фазам, с приблизительно одинаковым распределением нагрузок.

Сети освещения однофазные, сеть от ВРУ до ГРЩ – трёхфазная.

Покажем распределения осветительных сетей для 1-ого этажа:

- 1) группа помещений 0:
 - а) фаза А: группа О1.1 мощностью 1290 Вт;
 - б) фаза В: группа О1.2 мощностью 1248 Вт;
 - в) фаза С: группа О1.3 мощностью 1253 Вт;
- 2) группа помещений 1:
 - а) фаза А: группа О1.4 мощностью 934 Вт;
 - б) фаза В: группа О1.5 мощностью 924 Вт;
 - в) фаза С: группа О1.6 мощностью 929 Вт;
- 3) группа помещений 2:
 - а) фаза А: группа О1.7 мощностью 1243 Вт;
 - б) фаза В: группа О1.8 мощностью 1246 Вт;
 - в) фаза С: группа О1.9 мощностью 1280 Вт;
- 4) группа помещений 3:
 - а) фаза А: группа О1.10 мощностью 1255 Вт;
 - б) фаза В: группа О1.11 мощностью 1208 Вт;
 - в) фаза С: группа О1.12 мощностью 1208 Вт.

Итоговая нагрузка по фазам составляет: А-4722 Вт, В-4626 Вт, С-4670 Вт.

Наиболее нагруженной является фаза А, перекос по фазам 1,06 %.

Суммарная мощность с учётом коэффициента одновременности 0,9

равна 12,6 кВт.

Проведём пример выбора магистральных проводников для групп розеточных сетей.

Напомним, что на собственные нужды приходится 0,75 кВт на помещение (не бытовое). Всего 138 помещений. При ПВ 60 % суммарная нагрузка составляет 79,01 кВт.

Выбираем по три однофазных группы на этаж. Тогда, расчётные токи групп составляют:

$$I_P = \frac{P_P}{\cos(\varphi_1) \cdot U_1 \cdot n} = \frac{79,01}{0,90 \cdot 0,22 \cdot 8} = 49,88 (A).$$

Выбираем кабель марки ППГнг(А)-НФ сечением 3×6 мм² с длительно допустимым током (прокладка в воздухе/трубе) 59 А.

Удельные сопротивления кабеля равны:

$$R_{0,уд} = 1,08 \text{ Ом/км};$$
$$X_{0,уд} = 0,090 \text{ Ом/км}.$$

Расчётная длина до наиболее удаленного потребителя от ВРУ составляет 0,201 км (монтажная).

Потеря напряжения кабеля составит:

$$\Delta U = \frac{2I_1 L_1}{100} (R_0 \cos(\varphi_0) + X_0 \sin(\varphi_0)) = \frac{2 \cdot 49,88 \cdot 0,201}{100} \times$$
$$\times (3,08 \cdot 0,90 + 0,090 \cdot 0,44) = 61,078 (\%).$$

Принимаем по 8 групп на этаж.

Тогда ток составит:

$$I_P = \frac{P_P}{c \cos(\varphi_1) \cdot U_1 \cdot n} = \frac{79,01}{0,90 \cdot 0,22 \cdot 8 \cdot 2} = 12,47 (A).$$

Потеря напряжения кабеля составит:

$$\Delta U = \frac{2I_1 L_1}{100} (R_0 \cos(\varphi_0) + X_0 \sin(\varphi_0)) = \frac{2 \cdot 12,47 \cdot 0,201}{100} \times \\ \times (1,08 \cdot 0,90 + 0,090 \cdot 0,44) = 2,104 (\%).$$

Всего надо распределить по трём фазам 9876 Вт на первый и второй этажи. Общее количество групп – 16.

Для того, чтобы отсутствовал перекос напряжений по фазам, распределяем группу вместе с однофазными потребителями.

На фазу А подключаем потребители: электрокардиографическая установка, стерилизатор и негатоскопы суммарной мощностью 2040 Вт и 9876 Вт от розеточной сети. На фазу С подключаем потребители: облучатель бактерицидный, вытяжные шкафы и холодильные установки суммарной мощностью 2120 Вт и 9876 Вт от розеточной сети.

Остальные однофазные потребители подключаем на фазу В суммарной мощностью 11060 Вт.

В итоге наиболее нагруженной останется фаза В.

Перекас по фазам составит:

$$\delta = \frac{\frac{70226}{3} - 22690}{\frac{70226}{3}} = 3,07 (\%).$$

Окончательно сведём расчёт в таблицу 10 (см. с. 49 настоящей работы).

Таблица 9 – К выбору кабелей ответственных потребителей поликлиники

Наименование	I_p A	Марка	Предварительный выбор						Окончательный выбор				
			S	I_δ	R_0	X_0	$\cos(\varphi)$	ΔU	L	S	R_0	X_0	ΔU
			$мм^2$	A	$Ом/км$	-	%	$км$	$мм^2$	$Ом/км$	%		
Рентгеновский комплекс	63,59	ВВГнг(А)-FRLSLTx	5×10	74	1,83	0,073	0,80	8,347	0,191	5×50	0,387	0,063	1,956
Маммограф	8,32		5×2,5	36	7,41	0,116	0,80	2,637	0,116	5×4	4,61	0,095	1,652
Электрокардиографическая установка	1,33		3×2,5	34	7,41	0,116	0,95	0,631	0,127	3×2,5	7,41	0,116	0,631
Флюорографическая установка	30,33		5×4	44	4,61	0,095	0,80	6,937	0,134	5×16	1,15	0,068	1,810
Стоматологическая установка	1,26		5×2,5	36	7,41	0,116	0,85	0,436	0,119	5×2,5	7,41	0,116	0,436
Дистиллятор	3,29		5×2,5	36	7,41	0,116	0,95	1,251	0,118	5×2,5	7,41	0,116	1,251
Автоклав	5,31		5×2,5	36	7,41	0,116	0,98	1,781	0,101	5×2,5	7,41	0,116	1,781
Стерилизатор	14,72		3×2,5	34	7,41	0,116	0,50	0,825	0,028	3×2,5	7,41	0,116	0,825
Облучатель бактерицидный	2,30		3×2,5	34	7,41	0,116	0,90	0,146	0,018	3×2,5	7,41	0,116	0,146
Негатоскоп	1,26		3×2,5	34	7,41	0,116	0,50	0,509	0,201	3×2,5	7,41	0,116	0,509
Вытяжные шкафы	11,27		3×2,5	34	7,41	0,116	0,50	3,229	0,143	3×4	4,61	0,095	2,041
Сушильные шкафы	12,27		3×2,5	34	7,41	0,116	0,90	1,215	0,028	3×2,5	7,41	0,116	1,215
Специальные вытяжные шкафы (физиотерапевтические)	18,17		3×2,5	34	7,41	0,116	0,50	5,677	0,156	3×10	1,83	0,073	1,515
Автоматические сушители рук	27,60		3×2,5	34	7,41	0,116	0,50	9,231	0,167	3×16	1,15	0,073	1,638
Вентилятор	20,45		3×2,5	34	7,41	0,116	0,80	9,814	0,152	3×16	1,15	0,073	1,619
Холодильные установки	2,39		3×2,5	34	7,41	0,116	0,80	1,077	0,143	3×2,5	7,41	0,068	1,077
Столы лабораторные	5,02	5×2,5	36	7,41	0,116	0,92	1,853	0,118	5×2,5	7,41	0,116	1,853	

Таблица 10 – К выбору кабелей групповых сетей поликлиники

Наименования групп и помещений				P_p	U_p	I_p	Марка	Предварительный выбор					Окончательный выбор				
								S	I_0	R_0	X_0	ΔU	L	S	R_0	X_0	ΔU
								$мм^2$	A	$Ом/км$	$\%$	$км$	$мм^2$	$Ом/км$	$\%$		
1				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
ОСВЕЩЕНИЕ 1-ОГО ЭТАЖА																	
0	A	O1.1	1,0,1-1,0,2	1290	220	7,49	ППГнг(А)-HF	3×1,5	24	18,1	0,058	10,779	0,097	3×6	3,08	0,090	1,857
	B	O1.2	1,0,3-1,0,21; 1,0,36;1,043-1,050	1248	220	7,25		3×1,5	24	18,1	0,058	5,913	0,055	3×4	4,61	0,095	1,519
	C	O1.3	1,0,22-1,035;1,0,37-1,0,42	1253	220	7,28		3×1,5	24	18,1	0,058	6,476	0,060	3×4	4,61	0,095	1,663
1	A	O1.4	1,1,02;1,1,05-1,1,11	934	220	5,42		3×1,5	24	18,1	0,058	9,253	0,115	3×6	3,08	0,090	1,594
	B	O1.5	1,1,14-1,1,19; 1,1,22-1,1,23;1,1,27-1,1,31	924	220	5,37		3×1,5	24	18,1	0,058	6,925	0,087	3×4	4,61	0,095	1,779
	C	O1.6	1,1,01;1,1,03-1,1,04;1,1,12-1,1,13;1,1,20-1,1,21;1,1,24-1,1,26;1,1,32-1,1,54	929	220	5,40		3×1,5	24	18,1	0,058	8,971	0,112	3×6	3,08	0,090	1,546
2	A	O1.7	1,2,01-1,2,16	1243	220	7,22		3×1,5	24	18,1	0,058	10,494	0,098	3×6	3,08	0,090	1,808
	B	O1.8	1,2,17-1,2,29	1246	220	7,24		3×1,5	24	18,1	0,058	12,988	0,121	3×8	2,25	0,073	1,637
	C	O1.9	1,2,30-1,2,48	1280	220	7,43		3×1,5	24	18,1	0,058	10,255	0,093	3×6	3,08	0,090	1,767
3	A	O1.10	1,3,01-1,3,10;1,3,40;1,3,42	1255	220	7,29		3×1,5	24	18,1	0,058	6,595	0,061	3×4	4,61	0,095	1,694
	B	O1.11	1,3,11-1,3,19;1,3,43;1,3,25-1	1208	220	7,02	3×1,5	24	18,1	0,058	15,714	0,151	3×8	2,25	0,073	1,981	

Продолжение таблицы 10

1				2	3	4	5	6	7	8		9	10	11	12		13
3	С	О1.12	1,3,20-1,3,39;1,3,43	1208	220	7,02		3×1,5	24	18,1	0,058	13,945	0,134	3×8	2,25	0,073	1,758
-	ИТОГО ПО А			4722	220	1,06											
	ИТОГО ПО В			4626	220												
	ИТОГО ПО С			4670	220												
	ИТОГО ПО 1-ОМУ ЭТАЖУ			12616	380	22,07	ВВГнг-LS	5×2,5	25	7,4	0,116	4,118	0,061	5×6	3,09	0,090	1,731
ОСВЕЩЕНИЕ 2-ОГО ЭТАЖА																	
0	А	О2.1	2,0,1-2,0,3	1305	220	7,58	ППГнг(А)-HF	3×1,5	24	18,1	0,058	11,242	0,100	3×6	3,08	0,090	1,937
	В	О2.2	2,0,5-2,0,21	1359	220	7,89		3×1,5	24	18,1	0,058	6,790	0,058	3×4	4,61	0,095	1,744
	С	О2.3	2,0,22-2,0,50	1381	220	8,02		3×1,5	24	18,1	0,058	7,495	0,063	3×4	4,61	0,095	1,925
1	А	О2.4	2,1,1-2,1,3;2,1,5-2,1,20	881	220	5,12		3×1,5	24	18,1	0,058	8,956	0,118	3×6	3,08	0,090	1,543
	В	О2.5	2,1,14+2,1,31	884	220	5,13		3×1,5	24	18,1	0,058	6,854	0,090	3×4	4,61	0,095	1,760
	С	О2.6	2,1,32-2,1,54;2,1,4	884	220	5,13		3×1,5	24	18,1	0,058	8,758	0,115	3×6	3,08	0,090	1,509
2	А	О2.7	2,2,1-2,2,16	1328	220	7,71		3×1,5	24	18,1	0,058	11,555	0,101	3×6	3,08	0,090	1,991
	В	О2.8	2,2,17-2,2,29	1310	220	7,61		3×1,5	24	18,1	0,058	13,994	0,124	3×8	2,25	0,073	1,764
	С	О2.9	2,2,30-2,2,48	1330	220	7,72		3×1,5	24	18,1	0,058	10,999	0,096	3×6	3,08	0,090	1,895
3	А	О2.10	2,3,1-2,3,10;2,3,40;2,3,42	1255	220	7,29		3×1,5	24	18,1	0,058	6,919	0,064	3×4	4,61	0,095	1,777
	В	О2.11	2,3,11- 2,3,19;2,3,43;2,3,25-1	1208	220	7,02		3×1,5	24	18,1	0,058	16,026	0,154	3×8	2,25	0,073	2,020
	С	О2.12	2,3,20-2,3,39;2,3,43	1396	220	8,11		3×1,5	24	18,1	0,058	16,476	0,137	3×8	2,25	0,073	2,077
-	ИТОГО ПО А			4769	220	1,64											
	ИТОГО ПО В			4761	220												
	ИТОГО ПО С			4991	220												

Продолжение таблицы 10

1				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
ОСВЕЩЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЕ																	
А	А	ОА.1	ЭТАЖ 1	800	220	3,95	ППГ _{нг(А)} -HF	3×1,5	24	18,1	0,058	11,324	0,189	3×6	3,08	0,090	1,948
	В	ОА.2	ЭТАЖ 2	800	220	3,95		3×1,5	24	18,1	0,058	10,665	0,178	3×6	3,08	0,090	1,835
	С	ОА.3	ПОДВАЛ	800	220	3,95		3×1,5	24	18,1	0,058	9,647	0,161	3×6	3,08	0,090	1,660
Т	А	ОТ.1	ПОДВАЛ	1440	220	7,27		3×1,5	24	18,1	0,058	20,387	0,189	3×10	1,83	0,069	2,096
	В	ОТ.2		1440	220	7,27		3×1,5	24	18,1	0,058	19,201	0,178	3×10	1,83	0,069	1,974
	С	ОТ.3		1440	220	7,27		3×1,5	24	18,1	0,058	17,367	0,161	3×8	2,25	0,073	2,189
-	ИТОГО ПО А			2240	220	0,00											
	ИТОГО ПО В			2240	220												
	ИТОГО ПО С			2240	220												
	ИТОГО ПО СПЕЦ. ОСВЕЩЕНИЮ			6048	380	10,58	ВВГ _{нг} -LS	5×2,5	25	7,4	0,116	2,945	0,091	5×4	4,63	0,095	1,845
ПАРАМЕТРЫ ЗДАНИЯ																	
ИТОГО ПО А				23644	220	3,07											
ИТОГО ПО В				22690	220												
ИТОГО ПО С				23892	220												
РОЗЕТОЧНАЯ ГРУППА				9876	220	49,88	ППГ _{нг(А)} -HF	3×6	64	3,08	0,099	12,956	0,201	3×6	1,15	0,090	2,077
				39505	380	115,51	ВВГ _{нг} -LS	5×25	144	0,727	0,062	0,414	0,010	5×25	0,727	0,062	0,414
ИТОГО				70226	380	122,8	ААБл-1	5×240	389	0,129	0,058	2,774	0,112	5×240	0,058	0,900	4,964

Выводы: в разделе произведен расчет центра электрических нагрузок, осуществлен выбор кабелей для крупных потребителей больничного городка и групповых сетей здания поликлиники.

6 Предварительный выбор коммутационных аппаратов

Т.к. в сети 0,4 кВ расчёт токов КЗ осуществляется с учётом сопротивлений коммутационных аппаратов и измерительных трансформаторов тока, необходимо предварительно выбрать аппаратуру по условиям допустимых токов и напряжений.

Проверка аппаратов по отключающей способности осуществляется после расчёта токов КЗ.

6.1 Выбор аппаратов КРУ ВН

Рассчитаем рабочий ток в сети ВН по условию защиты трансформатора:

$$I_{P/KPY} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22,0 (A).$$

Максимальный ток рассчитываем по условию выхода из строя одного трансформатора с учётом заведомо рассчитанного коэффициента перегрузки:

$$I_{МАКС/КРУ} = 1,34 \cdot 22,0 = 29,5 (A).$$

Т.к. ток не превышает 400 А, в сети 10,5 кВ выбирается разъединитель с одним ножом.

Выбираем разъединитель РЛДН.1-10.П на ток 200 А. Защищаем предохранителем ПКТ-103-10-100 на ток 100 А.

Выбираем трансформаторы тока ТОЛ-2 (3×0,5/0,2s – для цепей измерения, 5Р – для цепей защиты) на токи 50 А. Всего 7 штук (2 штуки в наиболее нагруженной фазе).

Выбираем ограничители перенапряжения ОПНп-10 на импульсные токи 550 А. Всего 2 штуки.

С учётом ошиновки (воздушный ввод) будет 13 болтовых соединений.

6.2 Выбор аппаратов РУ НН

Рассчитаем рабочий ток в сети НН по условию защиты трансформатора:

$$I_{P/PY} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,4 (A).$$

Максимальный ток рассчитываем по условию выхода из строя одного трансформатора с учётом заведомо рассчитанного коэффициента перегрузки:

$$I_{МАКС/PY} = 1,34 \cdot 577,4 = 744,8 (A).$$

Изначально выберем аппараты блока учёта.

6.3 Выбор аппаратов ВРУ

На потребителях выбираем автоматические выключатели ВА47-29 и ВА47-100, по номинальному току, с учётом коэффициента надёжности 1,1.

Т.к. согласно ПУЭ, разрыв защитного проводника не допускается на трёхфазные группы устанавливаем четырёхполюсные автоматы, а на однофазные – двухполюсные. На трёхфазные негрупповые потребители устанавливаем трёхполюсные автоматы.

Выводы по разделу. Выбираем рубильник РЕ-19 на ток 1000 А.

Выбираем трансформаторы тока ТТИ-85-0,5 на ток 800 А в количестве 6 шт. (2 шт. в наиболее нагруженной фазе).

Выбираем два ограничителя напряжения на ОПНн-0,4 на импульсные токи 300 А.

Выбираем аппараты РУ ВН. Выбираем выключатель нагрузки ВА-45-1600/1000 на ток 1000 А. Выбираем автоматические выключатели на отходящих фидерах ВА57-39 и ВА37-35 согласно расчётным токам зданий.

Общее количество болтовых соединений с учётом ошиновки 20 шт.

7 Расчёт токов КЗ

7.1 Предварительные замечания

Составим однолинейную расчётную схему короткого замыкания наиболее нагруженной фазы (с учётом трансформатора тока класса 0,2s). Для примера расчёт будем вести для одного трёхфазного потребителя (рентгеновский комплекс) и для одного однофазного потребителя (освещение группы помещений 0, этажа 1).

Расчётная схема линии для КЗ представлена на рисунке 2 (см. с. 55 настоящей работы).

На схеме показываем только те устройства и аппараты, которые непосредственно учувствуют при расчёте КЗ. На схеме показываем места коротких замыканий.

По расчётной схеме КЗ оставляем схему замещения, представленную на рисунке 1 (см. с. 54 настоящей работы).

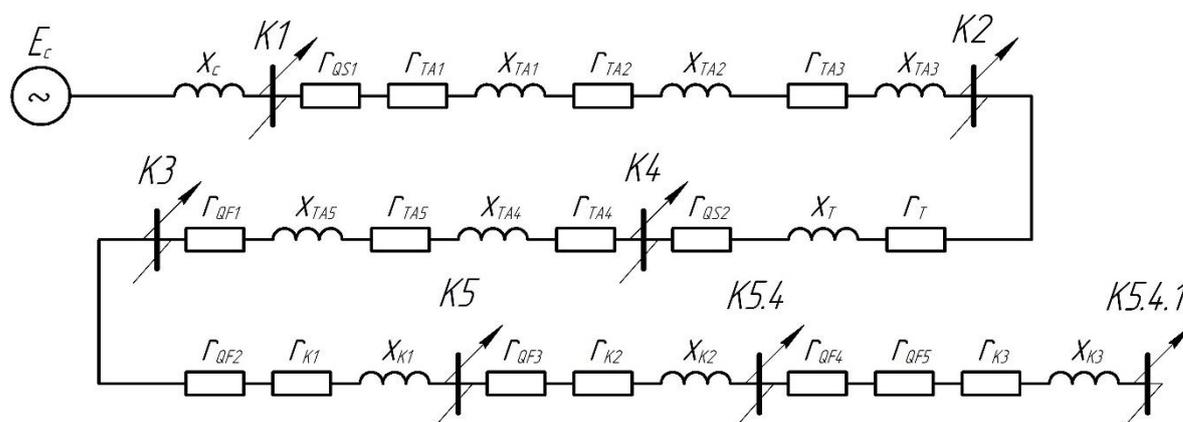


Рисунок 1 – Схема замещения прямой последовательности токов КЗ

Расчёт может быть точным или приближенным.

Если в качестве базисного напряжения принимается среднее напряжения ступеней (без учёта реальных коэффициентов трансформации), то такой расчёт считается приближённым.

В нашем случае средние номинальные напряжения ступеней составляют 10,5 кВ, 0,4 кВ и 0,23 кВ.

Расчёт может вестись в системе именованных и относительных единиц.

Выберем систему именованных единиц.

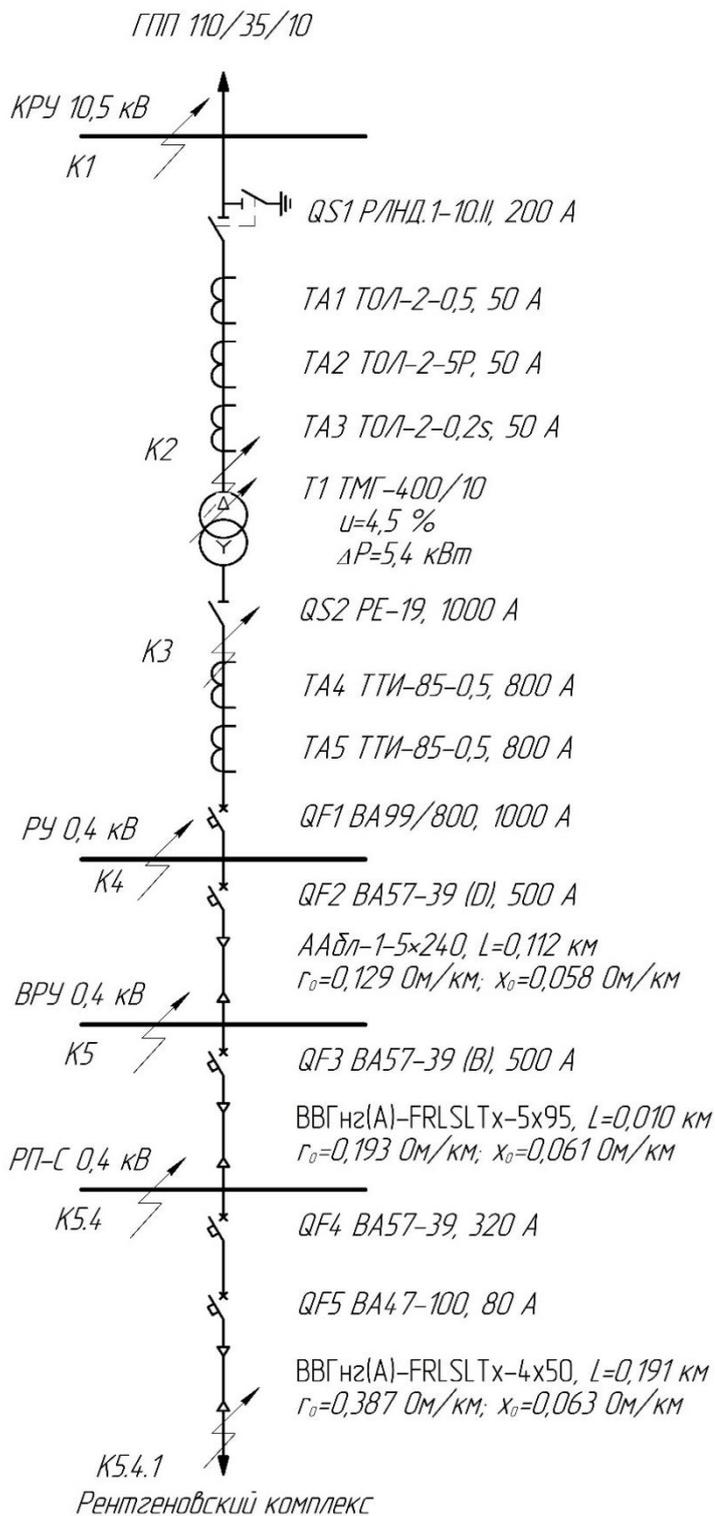


Рисунок 2 – Схема однолинейная расчётная токов КЗ

Примем мощность КЗ на шинах энергосистемы $S_{КЗ} = 200$ (МВА).

ЭДС единственного источника в схеме – самой системы, составляет:

$$E_c = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}} = \frac{10500}{\sqrt{3}} = 6062 \text{ (В)}.$$

Независимо от того, какой вид КЗ рассчитывается необходимо найти сопротивления элементов схемы замещения, приведённые к базисным условиям. За базисное напряжение принимаем ступень 10500 В.

Так, сопротивление энергосистемы составляет:

$$x_c = \frac{U_{\delta}^2}{S_{КЗ}} = \frac{10500^2}{200 \cdot 10^6} = 0,551 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивления трансформаторов рассчитываются, как:

$$\begin{aligned} r_T &= \frac{\Delta P_{КЗ} U_{\delta}^2}{S_T^2}, \\ z_T &= \frac{u_{КЗ\%} U_{\delta}^2}{100 \cdot S_T}, \\ x_T &= \sqrt{z_T^2 - r_T^2}. \end{aligned} \tag{10}$$

Обратим внимание, что сопротивления рассчитываются по базисной ступени напряжения, а не по номинальной.

Произведём расчёт сопротивлений трансформатора:

$$\begin{aligned} r_T &= \frac{\Delta P_{КЗ} U_{\delta}^2}{S_T^2} = \frac{5400 \cdot 10,5^2}{400^2} = 3,721 \text{ (Ом)}, \\ z_T &= \frac{u_{КЗ\%} U_{\delta}^2}{100 \cdot S_T} = \frac{4,5 \cdot 10,5}{100 \cdot 400} = 12,403 \text{ (Ом)}, \\ x_T &= \sqrt{z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{12,403^2 - 3,721^2} = 11,832 \text{ (Ом)}. \end{aligned}$$

В схеме также присутствуют сопротивления кабелей.

Сопротивление КЗ кабелей находятся по формуле:

$$\begin{aligned} r_i &= r_{0i} L_i \frac{U_{\bar{\delta}}^2}{U_{\text{ср.ном.}i}^2}, \\ x_i &= x_{0i} L_i \frac{U_{\bar{\delta}}^2}{U_{\text{ср.ном.}i}^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где r_0, x_0 – погонные сопротивления кабелей, Ом/км ;

$U_{\text{ср.ном.}}$ – среднее номинальное напряжение ступени, В ;

L – длина участка, км .

Найдём сопротивления кабелей:

- для ААбл-1-5×240:

$$\begin{aligned} r_{K1} &= r_{01} L_1 \frac{U_{\bar{\delta}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,129 \cdot 0,112 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 9,937 \text{ (Ом)}, \\ x_{K1} &= x_{01} L_1 \frac{U_{\bar{\delta}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,129 \cdot 0,058 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 4,468 \text{ (Ом)}, \end{aligned}$$

- для ВВГнг(А)-FRLSLTx-5×95:

$$\begin{aligned} r_{K2} &= r_{02} L_2 \frac{U_{\bar{\delta}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,010 \cdot 0,193 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 1,330 \text{ (Ом)}, \\ x_{K2} &= x_{02} L_2 \frac{U_{\bar{\delta}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,010 \cdot 0,061 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 0,422 \text{ (Ом)}, \end{aligned}$$

- для ВВГнг(А)-FRLSLTx-4×50:

$$r_{K3} = r_{03} L_3 \frac{U_{\bar{6}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,191 \cdot 0,387 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 50,933 \text{ (Ом)},$$

$$x_{K3} = x_{03} L_3 \frac{U_{\bar{6}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,191 \cdot 0,063 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 8,226 \text{ (Ом)},$$

- для ВВГнг-LS-5×6 (щиток ГРЩ-О.1):

$$r_{K2} = r_{02} L_2 \frac{U_{\bar{6}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,061 \cdot 3,090 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 129,881 \text{ (Ом)},$$

$$x_{K2} = x_{02} L_2 \frac{U_{\bar{6}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,061 \cdot 0,090 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 3,783 \text{ (Ом)},$$

- для ППГнг(А)-НФ-3×6 (однофазный потребитель О1.1):

$$r_{K3} = r_{03} L_3 \frac{U_{\bar{6}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,097 \cdot 3,080 \cdot \frac{10,5^2}{0,23^2} = 622,652 \text{ (Ом)},$$

$$x_{K3} = x_{03} L_3 \frac{U_{\bar{6}}^2}{U_{\text{ср.ном.}}^2} = 0,097 \cdot 0,090 \cdot \frac{10,5^2}{0,23^2} = 18,194 \text{ (Ом)}.$$

Также в расчёт включаются сопротивления коммутационных аппаратов и трансформаторов тока.

Сопротивления принимаются согласно ГОСТ Р 50270 – 92 [10], Приложение 5, по номинальным токам аппаратов и трансформаторов тока.

Для разъединителя и рубильника имеем:

$$r_{QS1} = 0,2 \text{ (мОм)},$$

$$r_{QS2} = 0,08 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 55 \text{ (мОм)}.$$

Для измерительных трансформаторов в сети 10,5 кВ:

$$r_{TA1-3} = 11 (\text{мОм}), x_{TA1-3} = 7 (\text{мОм}),$$

$$r_{TA2} = 2,8 (\text{мОм}), x_{TA2} = 3 (\text{мОм}).$$

Для измерительных трансформаторов в сети 0,4 кВ:

$$r_{TA4-5} = 0,07 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 48 (\text{мОм}),$$

$$x_{TA4-5} = 0,05 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 34 (\text{мОм}).$$

При расчёте сопротивлений автоматов следует учитывать их контактные сопротивления и сопротивления катушек:

-для ВА 99/800 имеем:

$$r_{QF1} = 0,25 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 172 (\text{мОм}),$$

$$x_{QF1} = 0,1 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 69 (\text{мОм}),$$

-для ВА 57-39 ВРУ имеем:

$$r_{QF2} = 0,46 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 317 (\text{мОм}),$$

$$x_{QF2} = 0,15 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 103 (\text{мОм}),$$

-для ВА 57-39 РЩ имеем:

$$r_{QF3} = 0,730 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 503 (\text{мОм}),$$

$$x_{QF3} = 0,302 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 208 (\text{мОм}),$$

-для ВА 47-100 имеем:

$$r_{QF4} = 2,950 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 2033 \text{ (мОм)},$$
$$x_{QF4} = 1,733 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 1194 \text{ (мОм)},$$

-для ВА 47-29 ГРЩ-О имеем:

$$r_{QF3} = 6,9 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 4755 \text{ (мОм)},$$
$$x_{QF3} = 4,5 \cdot \frac{10,5^2}{0,4^2} = 3101 \text{ (мОм)},$$

-для ВА 47-29 однофазный потребитель имеем:

$$r_{QF4} = 6,96 \cdot \frac{10,5^2}{0,23^2} = 14505 \text{ (мОм)},$$
$$x_{QF4} = 4,5 \cdot \frac{10,5^2}{0,23^2} = 9379 \text{ (мОм)}.$$

Покажем расчёт сопротивления петли «фаза-нуль» для кабеля ААбл-1-5×240:

$$r_{K1/0} = r_{01} L_1 = 2 \cdot 0,129 \cdot 0,112 = 2 \cdot 0,0288 \text{ (Ом)} \text{ (фаза + нуль)},$$
$$x_{K1/0} = x_{01} L_1 = 0,08 \cdot 0,112 = 0,0089 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление нулевой последовательности трансформатора мощностью 400 кВА со схемой соединения $\Delta/Y0$ равно 0,060 Ом.

Сопротивления нулевой последовательности аппаратов и трансформаторов тока равны сопротивлением прямой последовательности.

Сведём расчёт сопротивлений КРУ ВН в таблицу 11 (см. с. 61 настоящей работы). Сведём расчёт сопротивлений РУ НН в таблицу 12 (см. с. 61 настоящей работы). Сведём расчёт сопротивлений потребителей поликлиники в таблицу 13 (см. с. 62 настоящей работы).

Таблица 11 – К расчёту сопротивлений КРУ ВН

Наименование, точка КЗ		$U, кВ$	$I, А$	ВВОД ВЛ		Не учитывается в однофазном КЗ								
				$r_1, Ом$	$x_1, Ом$									
К1	СИСТЕМА	10,5	29,51	-	0,551									
К2	КРУ	10,5	29,51	РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ			ТРАНСФОРМАТОР ТОКА I				ТРАНСФОРМАТОР ТОКА III			
				Марка	$I, А$	$r_1, Ом$	Марка	$I, А$	$r_1, Ом$	$x_1, Ом$	Марка	$I, А$	$r_1, Ом$	$x_1, Ом$
				РЛДН.1-10.П	200	0,0002	ТОЛ-2-0,5/0,2s	50	0,011	0,007	ТОЛ-2-5P	50	0,0028	0,003
	ТРАНСФОРМАТОР	10,5	29,51	Марка	$r_1, Ом$	$x_1, Ом$	$z_0, Ом$	Обмотка ВН не учитывается в однофазном КЗ						
				ТМГ-400/10	3,721	11,832	0,060							

Таблица 12 – К расчёту сопротивлений РУ НН

Наименование, точка КЗ		U	I	РУБИЛЬНИК			ТРАНСФОРМАТОР ТОКА I				АВТОМАТ				Сопротивления аппаратов – мОм; Сопротивления кабелей – Ом/км; Приведённые сопротивления* – Ом, Рабочие токи - А; Напряжения ступеней – кВ.				
				Марка	I	r_1	Марка	I	r_1	x_1	Марка	$I, А$	r_1	x_1					
К3	ШИНЫ ТРАНСФОРМАТОРА	0,4	744,78	РЕ-19	1000	0,08 0,055*	ТТИ-85-0,5	800	0,07 0,048*	0,05 0,034*	ВА-99/800	1000	0,25 0,172*	0,1 0,069*					
К4	ФИДЕРЫ	0,4	744,78	КАБЕЛЬ			АВТОМАТ				КАБЕЛЬ				АВТОМАТ				
				Марка	L	r_1	x_1	Марка	I	r_1	x_1	r_1^*	x_1^*	r_0	r_{0N}	x_0	r_1^*	x_1^*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
К5	.1	ВРУ 1	0,4	388,59	ААбл-1-5×240	0,112	0,129	0,058	ВА57-39-4P	500	0,460	0,150	9,937	4,468	0,014	0,014	0,010	0,317	0,103
	.2	ВРУ 2	0,4	85,88	ААбл-1-4×70	0,274	0,443	0,061	ВА47-100-4P	100	2,050	1,200	83,555	11,505	0,121	0,121	0,035	1,413	0,827
	.3	ВРУ 3	0,4	4,75	ААбл-1-4×16	0,221	1,940	0,068	ВА47-29-4P	6	6,976	4,500	295,051	10,342	0,428	0,428	0,155	4,807	3,101

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	.4	ВРУ 4	0,4	53,02	ААбл-1-4×35	0,241	0,690	0,064	ВА47-29-4Р	63	3,400	2,000	114,526	10,623	0,166	0,166	0,055	2,343	1,378
	.5	ВРУ 5	0,4	15,30	ААбл-1-4×16	0,085	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	16	6,936	4,500	113,143	3,966	0,164	0,164	0,155	4,779	3,101
	.6	ВРУ 6	0,4	2,79	ААбл-1-4×16	0,280	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	3	6,988	4,500	374,043	13,111	0,543	0,543	0,155	4,815	3,101
	.7	ВРУ 7	0,4	10,32	ААбл-1-4×16	0,228	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	13	6,948	4,500	304,491	10,673	0,442	0,442	0,155	4,788	3,101
	.8	ВРУ 8	0,4	17,78	ААбл-1-4×16	0,134	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	20	6,920	4,500	179,013	6,275	0,260	0,260	0,155	4,768	3,101
	.9	ВРУ 9	0,4	108,30	ААбл-1-4×50	0,145	0,620	0,063	ВА47-100-4Р	$\frac{12}{5}$	1,950	0,720	61,927	6,293	0,090	0,090	0,050	1,344	0,496
	.10	ВРУ 10	0,4	8,02	ААбл-1-4×16	0,202	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	10	6,960	4,500	269,472	9,445	0,391	0,391	0,155	4,796	3,101
	.11	ВРУ 11	0,4	40,28	ААбл-1-4×35	0,217	0,690	0,064	ВА47-29-4Р	50	6,800	4,500	103,129	9,566	0,150	0,150	0,055	4,686	3,101
	.12	ВРУ 12	0,4	1,39	ААбл-1-4×16	0,152	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	2	6,992	4,500	203,748	7,142	0,296	0,296	0,155	4,818	3,101
	.13	ВРУ 13	0,4	1,08	ААбл-1-4×16	0,180	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	2	6,992	4,500	240,185	8,419	0,349	0,349	0,155	4,818	3,101
	.14	ВРУ 14	0,4	80,83	ААбл-1-4×70	0,329	0,443	0,061	ВА47-100-4Р	$\frac{10}{0}$	2,050	1,200	100,377	13,822	0,146	0,146	0,035	1,413	0,827
	.15	ВРУ 15	0,4	0,56	ААбл-1-4×16	0,261	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	2	6,992	4,500	349,487	12,250	0,507	0,507	0,155	4,818	3,101
	.16	ВРУ 16	0,4	5,05	ААбл-1-4×16	0,195	1,940	0,068	ВА47-29-4Р	6	6,976	4,500	261,129	9,153	0,379	0,379	0,155	4,807	3,101
	.17	ВРУ 17	0,4	5,81	СИП-4-3×16	0,510	2,448	0,067	ВА47-29-3Р	8	6,968	4,500	860,281	23,545	Не протекают			4,801	3,101

Таблица 13 – К расчёту сопротивлений ВРУ и потребителей поликлиники

Наименование, точка КЗ	U	I	КАБЕЛЬ				АВТОМАТ				КАБЕЛЬ				АВТОМАТ			
			Марка	L	r ₁	x ₁	Марка	I	r ₁	x ₁	r ₁ *	x ₁ *	r ₀	r _{0N}	x ₀	r ₁ *	x ₁ *	
1/2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
ВРУ/6	0,400	388,59	ААбл-1-5×240	0,112	0,129	0,058	ВА57-39-4Р	500	0,460	0,150	9,937	4,468	0,0144	0,0144	0,0089	0,317	0,103	
1	РП1/8	0,400	63,43	ВВГнг-LS-5×25	0,010	0,727	0,062	ВА47-100-4Р	80	2,950	1,733	5,009	0,427	0,0073	0,0073	0,0008	2,033	1,194
A	Н1.1-1.2	0,230	49,88	ППГнг(A)-HF-3×6	0,201	1,080	0,090	ВА47-29-2Р	13	6,948	4,500	452,421	37,702	0,2171	0,2171	0,0161	14,480	9,379

Продолжение таблицы 13

1/2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
В	Н1.3-1.4	0,230	49,88	ППГнг(А)-HF-3×6	0,201	1,080	0,090	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	452,421	37,702	0,2171	0,2171	0,0161	14,480	9,379
С	Н1.5-1.6	0,230	49,88	ППГнг(А)-HF-3×6	0,201	1,080	0,090	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	452,421	37,702	0,2171	0,2171	0,0161	14,480	9,379
А	Н1.7-1.8	0,230	49,88	ППГнг(А)-HF-3×6	0,201	1,080	0,090	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	452,421	37,702	0,2171	0,2171	0,0161	14,480	9,379
2	ГРЩ О1/12	0,400	22,07	ВВГнг-LS-5×6	0,061	3,090	0,090	BA47-29-4P	25	6,900	4,500	129,881	3,783	0,1885	0,1885	0,0049	4,755	3,101
А	О1.1	0,230	7,49	ППГнг(А)-HF-3×6	0,097	3,080	0,090	BA47-29-2P	10	6,960	4,500	622,652	18,194	0,2988	0,2988	0,0078	14,505	9,379
В	О1.2	0,230	7,25	ППГнг(А)-HF-3×4	0,055	4,610	0,095	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	528,429	10,890	0,2536	0,2536	0,0044	14,522	9,379
С	О1.3	0,230	7,28	ППГнг(А)-HF-3×4	0,060	4,610	0,095	BA47-29-2P	10	6,960	4,500	576,468	11,879	0,2766	0,2766	0,0048	14,505	9,379
А	О1.4	0,230	5,42	ППГнг(А)-HF-3×6	0,115	3,080	0,090	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	738,196	21,571	0,3542	0,3542	0,0092	14,522	9,379
В	О1.5	0,230	5,37	ППГнг(А)-HF-3×4	0,087	4,610	0,095	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	835,878	17,225	0,4011	0,4011	0,0070	14,522	9,379
С	О1.6	0,230	5,40	ППГнг(А)-HF-3×6	0,112	3,080	0,090	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	719,580	21,027	0,3453	0,3453	0,0090	14,522	9,379
А	О1.7	0,230	7,22	ППГнг(А)-HF-3×6	0,098	3,080	0,090	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	629,071	18,382	0,3018	0,3018	0,0078	14,522	9,379
В	О1.8	0,230	7,24	ППГнг(А)-HF-3×8	0,121	2,250	0,073	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	567,402	18,409	0,2723	0,2723	0,0097	14,522	9,379
С	О1.9	0,230	7,43	ППГнг(А)-HF-3×6	0,093	3,080	0,090	BA47-29-2P	10	6,960	4,500	596,976	17,444	0,2864	0,2864	0,0074	14,505	9,379
А	О1.10	0,230	7,29	ППГнг(А)-HF-3×4	0,061	4,610	0,095	BA47-29-2P	10	6,960	4,500	586,076	12,077	0,2812	0,2812	0,0049	14,505	9,379
В	О1.11	0,230	7,02	ППГнг(А)-HF-3×8	0,151	2,250	0,073	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	708,080	22,973	0,3398	0,3398	0,0121	14,522	9,379
С	О1.12	0,230	7,02	ППГнг(А)-HF-3×8	0,134	2,250	0,073	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	628,362	20,387	0,3015	0,3015	0,0107	14,522	9,379
3	РЩ СПЕЦ-О/6	0,400	10,58	ВВГнг-LS-5×4	0,091	4,630	0,095	BA47-29-4P	13	6,948	4,500	290,323	5,957	0,4213	0,4213	0,0073	4,788	3,101
А	ОА.1	0,230	3,95	ППГнг(А)-HF-3×6	0,189	3,080	0,090	BA47-29-2P	5	6,980	4,500	1213,209	35,451	0,5821	0,5821	0,0151	14,547	9,379
В	ОА.2	0,230	3,95	ППГнг(А)-HF-3×6	0,178	3,080	0,090	BA47-29-2P	5	6,980	4,500	1142,598	33,388	0,5482	0,5482	0,0142	14,547	9,379
С	ОА.3	0,230	3,95	ППГнг(А)-HF-3×6	0,161	3,080	0,090	BA47-29-2P	5	6,980	4,500	1033,474	30,199	0,4959	0,4959	0,0129	14,547	9,379
А	ОТ.1	0,230	7,27	ППГнг(А)-HF-3×10	0,189	1,830	0,069	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	720,835	27,179	0,3459	0,3459	0,0151	14,522	9,379
В	ОТ.2	0,230	7,27	ППГнг(А)-HF-3×10	0,178	1,830	0,069	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	678,882	25,597	0,3257	0,3257	0,0142	14,522	9,379
С	ОТ.3	0,230	7,27	ППГнг(А)-HF-3×8	0,161	2,250	0,073	BA47-29-2P	8	6,968	4,500	754,973	24,495	0,3623	0,3623	0,0129	14,522	9,379
4	РПО - СПЕЦ/17	0,400	243,19	ВВГнг(А)-FRLSLTx-5×95	0,010	0,193	0,061	BA57-39-4P	320	0,730	0,302	1,330	0,422	0,0019	0,0019	0,0008	0,503	0,208
3Ф	С1.1	0,400	63,59	ВВГнг(А)-FRLSLTx-4×50	0,191	0,387	0,063	BA47-100-3P	80	2,950	1,733	50,933	8,226	0,0739	0,0739	0,0153	2,033	1,194
3Ф	С1.2	0,400	8,32	ВВГнг(А)-FRLSLTx-4×4	0,116	4,610	0,095	BA47-29-3P	10	6,960	4,500	368,483	7,593	0,5348	0,5348	0,0093	4,796	3,101

A	C1.3	0,230	1,33	BBΓнр(A)-FRLSLTx-3×2,5	0,127	7,410	0,116	BA47-29-2P	2	6,992	4,500	1961,304	30,703	0,9411	0,9411	0,0102	14,572	9,379
---	------	-------	------	------------------------	-------	-------	-------	------------	---	-------	-------	----------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

Продолжение таблицы 13

	1/2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3Φ	C1.4	0,400	30,33	BBΓнр(A)- FRLSLTx-4×16	0,134	1,150	0,068	BA47-29-3P	40	6,840	4,500	106,185	6,233	0,1541	0,1541	0,0107	4,713	3,10 1
	C1.5	0,400	1,26	BBΓнр(A)- FRLSLTx-4×2,5	0,119	7,410	0,116	BA47-29-3P	2	6,992	4,500	607,608	9,512	0,8818	0,8818	0,0095	4,818	3,10 1
	C1.6	0,400	3,29	BBΓнр(A)- FRLSLTx-4×2,5	0,118	7,410	0,116	BA47-29-3P	5	6,980	4,500	602,502	9,432	0,8744	0,8744	0,0094	4,810	3,10 1
	C1.7	0,400	5,31	BBΓнр(A)- FRLSLTx-4×2,5	0,101	7,410	0,116	BA47-29-3P	6	6,976	4,500	515,701	8,073	0,7484	0,7484	0,0081	4,807	3,10 1
A	C1.8	0,230	14,72	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×2,5	0,028	7,410	0,116	BA47-29-2P	16	6,936	4,500	432,413	6,769	0,2075	0,2075	0,0022	14,455	9,37 9
C	C1.9	0,230	2,30	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×2,5	0,018	7,410	0,116	BA47-29-2P	3	6,988	4,500	277,980	4,352	0,1334	0,1334	0,0014	14,564	9,37 9
A	C1.10	0,230	1,26	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×2,5	0,201	7,410	0,116	BA47-29-2P	2	6,992	4,500	3104,11 1	48,593	1,4894	1,4894	0,0161	14,572	9,37 9
C	C1.11	0,230	11,27	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×4	0,143	4,610	0,095	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	1373,91 5	28,313	0,6592	0,6592	0,0114	14,480	9,37 9
B	C1.12	0,230	12,27	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×2,5	0,028	7,410	0,116	BA47-29-2P	16	6,936	4,500	432,413	6,769	0,2075	0,2075	0,0022	14,455	9,37 9
	C1.13	0,230	18,17	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×10	0,156	1,830	0,073	BA47-29-2P	20	6,920	4,500	594,975	23,734	0,2855	0,2855	0,0125	14,422	9,37 9
	C1.14	0,230	27,60	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×16	0,167	1,150	0,073	BA47-29-2P	32	6,872	4,500	400,255	25,408	0,1921	0,1921	0,0134	14,322	9,37 9
	C1.15	0,230	20,45	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×16	0,152	1,150	0,073	BA47-29-2P	25	6,900	4,500	364,304	23,125	0,1748	0,1748	0,0122	14,380	9,37 9
C	C1.16	0,230	2,39	BBΓнр(A)- FRLSLTx-3×2,5	0,143	7,410	0,068	BA47-29-2P	3	6,988	4,500	2208,39 7	20,117	1,0596	1,0596	0,0114	14,564	9,37 9
3Φ	C1.17	0,400	5,02	BBΓнр(A)- FRLSLTx-4×2,5	0,118	7,410	0,116	BA47-29-3P	6	6,976	4,500	602,502	9,432	0,8744	0,8744	0,0094	4,807	3,10 1
5	PII2/8	0,400	63,43	BBΓнр-LS-5×25	0,020	0,727	0,062	BA47-100-4P	80	2,950	1,733	10,019	0,854	0,0145	0,0145	0,0016	2,033	1,19 4
A	H2.1-2.2	0,230	49,88	IIIΓнр(A)-HF-3×6	0,211	1,08	0,09	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	474,929	39,577	0,2279	0,2279	0,0169	14,480	9,37 9
B	H2.3-2.4	0,230	49,88	IIIΓнр(A)-HF-3×6	0,211	1,08	0,09	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	474,929	39,577	0,2279	0,2279	0,0169	14,480	9,37 9
C	H2.5-2.6	0,230	49,88	IIIΓнр(A)-HF-3×6	0,211	1,08	0,09	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	474,929	39,577	0,2279	0,2279	0,0169	14,480	9,37 9
C	H2.7-2.8	0,230	49,88	IIIΓнр(A)-HF-3×6	0,211	1,08	0,09	BA47-29-2P	13	6,948	4,500	474,929	39,577	0,2279	0,2279	0,0169	14,480	9,37 9

6	ГРЩ О2/12	0,400	22,86	ВВГнг-LS-5×6	0,064	3,090	0,090	ВА47-29-4P	32	6,872	4,500	136,269	3,969	0,1978	0,1978	0,0051	4,735	3,10 1
---	-----------	-------	-------	--------------	-------	-------	-------	------------	----	-------	-------	---------	-------	--------	--------	--------	-------	-----------

Продолжение таблицы 13

1/2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	O2.1	0,230	7,58	ППГнг(A)-HF-3×6	0,100	3,080	0,090	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	641,909	18,757	0,3080	0,3080	0,0080	14,505	9,37 9
B	O2.2	0,230	7,89	ППГнг(A)-HF-3×4	0,058	4,610	0,095	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	557,252	11,484	0,2674	0,2674	0,0046	14,505	9,37 9
C	O2.3	0,230	8,02	ППГнг(A)-HF-3×4	0,063	4,610	0,095	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	605,291	12,473	0,2904	0,2904	0,0050	14,505	9,37 9
A	O2.4	0,230	5,12	ППГнг(A)-HF-3×6	0,118	3,080	0,090	ВА47-29-2P	6	6,976	4,500	757,453	22,133	0,3634	0,3634	0,0094	14,539	9,37 9
B	O2.5	0,230	5,13	ППГнг(A)-HF-3×4	0,090	4,610	0,095	ВА47-29-2P	6	6,976	4,500	864,702	17,819	0,4149	0,4149	0,0072	14,539	9,37 9
C	O2.6	0,230	5,13	ППГнг(A)-HF-3×6	0,115	3,080	0,090	ВА47-29-2P	6	6,976	4,500	738,196	21,571	0,3542	0,3542	0,0092	14,539	9,37 9
A	O2.7	0,230	7,71	ППГнг(A)-HF-3×6	0,101	3,080	0,090	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	648,328	18,945	0,3111	0,3111	0,0081	14,505	9,37 9
B	O2.8	0,230	7,61	ППГнг(A)-HF-3×8	0,124	2,250	0,073	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	581,470	18,865	0,2790	0,2790	0,0099	14,505	9,37 9
C	O2.9	0,230	7,72	ППГнг(A)-HF-3×6	0,096	3,080	0,090	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	616,233	18,007	0,2957	0,2957	0,0077	14,505	9,37 9
A	O2.10	0,230	7,29	ППГнг(A)-HF-3×4	0,064	4,610	0,095	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	614,899	12,671	0,2950	0,2950	0,0051	14,505	9,37 9
B	O2.11	0,230	7,02	ППГнг(A)-HF-3×8	0,154	2,250	0,073	ВА47-29-2P	8	6,968	4,500	722,148	23,430	0,3465	0,3465	0,0123	14,522	9,37 9
C	O2.12	0,230	8,11	ППГнг(A)-HF-3×8	0,137	2,250	0,073	ВА47-29-2P	10	6,960	4,500	642,430	20,843	0,3083	0,3083	0,0110	14,505	9,37 9

7.2 Расчёт токов трёхфазного КЗ

В общем случае ток трёхфазного короткого замыкания определяется по выражению:

$$I_{Ki}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma Ki}} \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{ср.ном}}, \quad (12)$$

где $Z_{\Sigma Ki}$ – общее полное сопротивление до точки КЗ, Ом ;

$U_{ср.ном.}$ – среднее номинальное напряжение ступени, В ;

E_c – ЭДС источника (фазное), В .

Суммарное полное сопротивление определяется по известному выражению, через суммарные активные и реактивные сопротивления, которые ищутся как сумма всех сопротивлений от источника до точки КЗ.

Ударный ток в точке КЗ определяется по выражению:

$$i_{yi} = \sqrt{2} K_y I_{Ki}^{(3)}, \quad (13)$$

где K_y – ударный коэффициент, *о. е.*

Ударный коэффициент находится через постоянную времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания:

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{ак}}}, T_{акi} = \frac{X_{\Sigma Ki}}{2\pi f R_{\Sigma Ki}}. \quad (14)$$

Итоговая мощность КЗ будет равна:

$$S_{Ki} = \sqrt{3} I_{Ki}^{(3)} U_{ср.ном}. \quad (15)$$

Рассчитаем КЗ в точке К1:

$$X_c = 0,551 (Ом) ; R_c = 0 ; Z_c = 0,551 (Ом) ;$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma K1}} \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{cp.ном}} = \frac{6062}{0,551} \cdot \frac{10500}{10500} = 11002 (A) ;$$

$$K_y = 1,8 (o. e.) ;$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} K_y I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 11002 = 28006 (A) ;$$

$$S_{K1} = \sqrt{3} I_{K1}^{(3)} U_{cp.ном} = \sqrt{3} \cdot 11002 \cdot 10500 \approx 200 (MBA) .$$

Рассчитаем КЗ в точке К4 (ступень 0,4 кВ):

$$X_4 = 0,551 + 2 \cdot 0,007 + 0,003 + 11,832 + 2 \cdot 0,034 + 0,069 = 12,496 (Ом) ;$$

$$R_4 = 0,0002 + 2 \cdot 0,011 + 0,0028 + 3,721 + 0,055 + 2 \cdot 0,048 + 0,172 = 4,011 (Ом) ;$$

$$Z_4 = \sqrt{4,011^2 + 12,496^2} = 13,124 (Ом) ;$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma K1}} \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{cp.ном}} = \frac{6062}{13,124} \cdot \frac{10500}{400} = 12125 (A) ;$$

$$T_{aKi} = \frac{X_{\Sigma Ki}}{2\pi f R_{\Sigma Ki}} = 9,918 (мс) ;$$

$$K_y = 1 + e^{\frac{0,01}{9,918 \cdot 0,001}} = 1,365 (o. e.) ;$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} K_y I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,365 \cdot 12125 = 23403 (A) .$$

Рассчитаем КЗ в точке К5.2.1 (ступень 0,23 кВ группа освещения):

$$X_4 = 12,496 + 4,468 + 0,103 + 3,783 + 3,101 + 18,194 + 9,379 = 51,524 (Ом) ;$$

$$R_4 = 4,011 + 9,937 + 0,317 + 129,881 + 4,755 + 622,652 + 14,505 = 786,058 (Ом) ;$$

$$Z_4 = \sqrt{786,058^2 + 51,524^2} = 787,745 (Ом) ;$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma K1}} \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{cp.ном}} = \frac{6062}{787,745} \cdot \frac{10500}{230} = 351 (A) ;$$

$$T_{aKi} = \frac{X_{\Sigma Ki}}{2\pi f R_{\Sigma Ki}} = 0,209 (мс) ;$$

$$K_y = 1 + e^{\frac{0,01}{0,209 \cdot 0,001}} = 1,000 (o. e.) ;$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} K_y I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,000 \cdot 351 = 497 (A) .$$

Сведём расчёт остальных токов в таблицу Б.1 (см. с. 103 настоящей работы).

7.3 Расчёт токов однофазного КЗ

Со стороны обмотки ВН трансформатора токи однофазного КЗ не протекают.

В общем виде ток однофазного короткого замыкания рассчитывается по выражению:

$$I_{Ki}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{1}{3}Z_T + Z_{\Pi}}, \quad (16)$$

где Z_T – сопротивление трансформатора однофазному току КЗ, Ом ;

U_{ϕ} – фазное напряжение ступени, В ;

Z_{Π} – сопротивление петли «фаза-нуль», Ом .

Схему соединения обмоток выбирают, исходя из следующих рекомендаций: до 160 кВА - Z/Y0; 250 кВА и выше – Δ/Y0.

Схему соединений обмоток Y/Y0 выбирать не рекомендуется.

В нашем случае выбрана схема Δ/Y0.

Обратим внимание, что сопротивление петли «фаза-нуль» в точке КЗ равно нулю.

В общем виде, сопротивление петли «фаза-нуль» рассчитывается по выражению:

$$Z_{\Pi} = L\sqrt{(r_{0\phi} + r_{0N})^2 + x_{\Pi,0}^2}, \quad (17)$$

где r_{0N} – активное сопротивление нейтрального провода, Ом/км ;

$x_{\Pi,0}$ – индуктивное сопротивление пары «фаза-нуль», Ом/км .

Индуктивное сопротивление пары «фаза-нуль» принимается 0,08 Ом/км.

В нашем случае, сопротивление петли «фаза-нуль» уже рассчитано.

Рассмотрим расчёт токов короткого замыкания в точке КЗ (шины трансформатора 0,4 кВ):

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{1}{3}Z_T + Z_{II}} = \frac{230}{\frac{1}{3} \cdot 0,060} = 11500 (A).$$

Рассмотрим расчёт токов короткого замыкания в точке К5.2.1:

$$Z_{II} = \sum L \sqrt{(r_{0\phi} + r_{0N})^2 + x_{II.0}^2} + \sum Z_{АПП} = 1,018 (Ом),$$

$$I_{K5.2.1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{1}{3}Z_T + Z_{II}} = \frac{230}{\frac{1}{3} \cdot 0,060 + 1,018} = 222 (A).$$

Сведём расчёт остальных токов в таблицу 14 (см. с. 69 настоящей работы).

Таблица 14 – К расчёту токов однофазного КЗ

Наименование, точка КЗ		$r_0, Ом$	$x_0, Ом$	$z_0, Ом$	$\Sigma z_0, Ом$	$I_{K3}^{(1)}, кА$
1/2		3	4	5	6	7
ШИНЫ ТРАНСФОРМАТОРА/КЗ		-	-	0,060	0,020	11,500
ШИНЫ РУ НН/К4		0,00047	0,0002	0,0005	0,0205	11,21
ВРУ/К5	ВРУ 2	0,245	0,036	0,2471	0,2677	0,86
	ВРУ 3	0,863	0,156	0,8774	0,8980	0,26
	ВРУ 4	0,336	0,060	0,3411	0,3616	0,64
	ВРУ 5	0,335	0,157	0,3704	0,3910	0,59
	ВРУ 6	1,093	0,160	1,1043	1,1248	0,20
	ВРУ 7	0,891	0,160	0,9049	0,9255	0,25
	ВРУ 8	0,527	0,160	0,5502	0,5708	0,40
	ВРУ 9	0,182	0,054	0,1896	0,2102	1,09
	ВРУ 10	0,789	0,156	0,8044	0,8249	0,28
	ВРУ 11	0,306	0,060	0,3119	0,3325	0,69

Продолжение таблицы 14

1/2		3	4	5	6	7	
	ВРУ 12	0,598	0,160	0,6193	0,6399	0,36	
	ВРУ 13	0,704	0,160	0,7220	0,7426	0,31	
	ВРУ 14	0,293	0,040	0,2961	0,3166	0,73	
	ВРУ 15	1,021	0,156	1,0333	1,0538	0,22	
	ВРУ 16	0,765	0,160	0,7814	0,8020	0,29	
	ВРУ 17	НЕ ПРОТЕКАЮТ					
К5-ВРУ1/6		0,029	0,009	0,031	0,051	4,490	
1	РП1/8	0,017	0,001	0,018	0,068	3,365	
A	Н1.1-1.2	0,441	0,016	0,441	0,512	0,449	
B	Н1.3-1.4	0,441	0,016	0,441	0,512	0,449	
C	Н1.5-1.6	0,441	0,016	0,441	0,512	0,449	
A	Н1.7-1.8	0,441	0,016	0,441	0,512	0,449	
2	ГРЩ О1/12	0,384	0,005	0,384	0,434	0,530	
A	О1.1	0,604	0,008	0,605	1,038	0,222	
B	О1.2	0,514	0,004	0,514	0,948	0,243	
C	О1.3	0,560	0,005	0,560	0,994	0,231	
A	О1.4	0,715	0,009	0,715	1,149	0,200	
B	О1.5	0,809	0,007	0,809	1,243	0,185	
C	О1.6	0,698	0,009	0,698	1,131	0,203	
A	О1.7	0,611	0,008	0,611	1,045	0,220	
B	О1.8	0,551	0,010	0,552	0,985	0,233	
C	О1.9	0,580	0,007	0,580	1,014	0,227	
A	О1.10	0,569	0,005	0,569	1,003	0,229	
B	О1.11	0,686	0,012	0,687	1,120	0,205	
C	О1.12	0,610	0,011	0,610	1,044	0,220	
3	РЩ СПЕЦ-О/6	0,850	0,007	0,850	0,900	0,256	
A	ОА.1	1,171	0,015	1,171	2,071	0,111	
B	ОА.2	1,103	0,014	1,104	2,003	0,115	
C	ОА.3	0,999	0,013	0,999	1,898	0,121	
A	ОТ.1	0,699	0,015	0,699	1,598	0,144	
B	ОТ.2	0,658	0,014	0,659	1,558	0,148	
C	ОТ.3	0,731	0,013	0,732	1,631	0,141	
4	РПО - СПЕЦ./17	0,005	0,001	0,005	0,056	4,118	
3Ф	С1.1	НЕ ПРОТЕКАЮТ					
3Ф	С1.2						
A	С1.3						
3Ф	С1.4						
	С1.5						
	С1.6						

Продолжение таблицы 14

1/2		3	4	5	6	7
3Ф	C1.7	НЕ ПРОТЕКАЮТ				
A	C1.8	0,422	0,002	0,422	0,477	0,483
C	C1.9	0,274	0,001	0,274	0,328	0,700
B	C1.12	0,422	0,002	0,422	0,477	0,482
	C1.13	0,578	0,012	0,578	0,632	0,364
	C1.14	0,391	0,013	0,391	0,446	0,516
	C1.15	0,357	0,012	0,357	0,412	0,559
C	C1.16	2,126	0,011	2,126	2,181	0,105
3Ф	C1.17	НЕ ПРОТЕКАЮТ				
5	РП2/8	0,032	0,002	0,032	0,083	2,779
A	H2.1-2.2	0,463	0,017	0,463	0,545	0,422
B	H2.3-2.4	0,463	0,017	0,463	0,545	0,422
1	2	3	4	5	6	7
C	H2.5-2.6	0,463	0,017	0,463	0,545	0,422
C	H2.7-2.8	0,463	0,017	0,463	0,545	0,422
6	ГРЩ О2/12	0,402	0,005	0,402	0,452	0,508
A	O2.1	0,623	0,008	0,623	1,075	0,214
B	O2.2	0,542	0,005	0,542	0,994	0,231
C	O2.3	0,588	0,005	0,588	1,040	0,221
A	O2.4	0,734	0,009	0,734	1,186	0,194
B	O2.5	0,837	0,007	0,837	1,289	0,178
C	O2.6	0,715	0,009	0,715	1,168	0,197
A	O2.7	0,629	0,008	0,629	1,082	0,213
B	O2.8	0,565	0,010	0,565	1,017	0,226
C	O2.9	0,598	0,008	0,598	1,051	0,219
A	O2.10	0,597	0,005	0,597	1,049	0,219
B	O2.11	0,700	0,012	0,700	1,152	0,200
C	O2.12	0,623	0,011	0,624	1,076	0,214

Составим сводную таблицу расчёта токов КЗ. Таблицу дополним токами двухфазного короткого замыкания, которое рассчитывается по выражению:

$$I_{Ki}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{Ki}^{(3)}. \quad (18)$$

Окончательно заносим значения токов в таблицу Б.1 Приложения Б (см. с. 103 настоящей работы).

Выводы: в разделе произведен расчет токов короткого замыкания.

8 Окончательный выбор оборудования

8.1 Выбор и проверка разъединителя

Разъединитель рассчитывается на максимальный ток трансформатора:

$$I_{МАКС} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{НОМ.С.}} \cdot \quad (19)$$

Разъединитель выбирается, исходя из условий:

$$\begin{aligned} U_{НОМ} &\geq U_{НОМ.С.} \\ I_{НОМ} &\geq I_{МАКС} \cdot \end{aligned} \quad (20)$$

Разъединитель проверяется по двум условиям: проверка на электродинамическую стойкость и проверка на термическую стойкость.

Проверка на электродинамическую стойкость заключается в сравнении двух токов:

$$i_{ДИН} \geq i_{УК2} \cdot \quad (21)$$

где $i_{ДИН}$ – ток электродинамической стойкости, $кА$;

$i_{УК2}$ – ударный ток ступени КЗ, $кА$.

Проверка на термическую стойкость осуществляется в сравнении двух тепловых импульсов:

$$I_{ТЕРМ}^2 \cdot t_{ТЕРМ} \geq \left(I_{К2}^{(3)}\right)^2 \cdot t_{ОТКЛ} \cdot \quad (22)$$

где $I_{ТЕРМ}$ – ток термической стойкости, $кА$;

$I_{К2}^{(3)}$ – ток ступени трёхфазного КЗ, $кА$;

$t_{\text{ТЕРМ}}$ – время протекания тока термической стойкости, с ;

$t_{\text{ОТКЛ}}$ – время от начала короткого замыкания до его отключения, с .

Предварительно был выбран разъединитель РЛНД.1-10.П/200 УХЛ1, параметры которого представлены в таблице 15 (см. с. 73 настоящей работы).

Таблица 15 – Параметры разъединителя

$U_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}}$	$i_{\text{ДИН}}$	$I_{\text{ТЕРМ}}$	$t_{\text{ТЕРМ}}$
кВ	А	кА		с
10	200	15,75	6,3	3

Проводим проверку разъединителя.

Данные об условиях и проверки представлены в таблице 16 (см. с. 73 настоящей работы).

Таблица 16 – Проверка разъединителя

УСЛОВИЕ	ПАРАМЕТРЫ		
$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.С.}}, (\text{кВ})$	10	=	10
$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{МАКС}}, (\text{А})$	200	>	29,51
$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{УК2}}, (\text{кА})$	15,75	>	0,919
$I_{\text{ТЕРМ}}^2 \cdot t_{\text{ТЕРМ}} \geq (I_{\text{К2}}^{(3)})^2 \cdot t_{\text{ОТКЛ}}, (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$	119,070	>	0,038

Как видно, выбранный разъединитель отвечает всем требованиям.

8.2 Выбор ограничителя перенапряжения

По номинальному напряжению ОПН выбираем на 10 и 0,38 (кВ).

По наибольшему рабочему напряжению 11,5 кВ для 10 кВ и 0,4 кВ для 0,38 кВ, соответственно.

По номинальному разрядному току 5 кА и 2,5 кА.

По уровню остающегося напряжения 45 кВ для 10 кВ и 1,2 кВ для 0,38 кВ.

Ранее выбранные ограничители сохраняем: ОПН-1-10/12ПУХЛ1 и ОПНП-П-0,38УХЛ1.

8.3 Выбор и проверка предохранителя

Ток короткого замыкания, проходящий через предохранитель со стороны высшего напряжения трансформатора, в нашем случае, будет равен:

$$I_{K3(10)}^{(3)} = I_{K3}^{(3)} \frac{U_{НН}}{U_{ВН}} = 0,038 I_{K3}^{(3)}. \quad (23)$$

Итак, предохранитель выбирается из следующих условий:

$$\begin{aligned} I_{Пл.вст.} &\geq 2,5 I_{МАКС}, \\ I_{ОТКЛ.} &\geq 0,038 I_{K3}^{(3)}, \\ I_{Пл.вст.} &\leq 0,038 I_{K3}^{(3)}. \end{aligned} \quad (24)$$

Предварительно был выбран предохранитель ПКТ-103-10-100-12,5 УЗ.

Данные об условиях и проверки представлены в таблице 17 (см. с. 74 настоящей работы).

Таблица 17 – Проверка предохранителя

УСЛОВИЕ	ПАРАМЕТРЫ		
$I_{Пл.вст.} \geq 2,5 I_{МАКС}, (A)$	100	>	71
$I_{ОТКЛ.} \geq 0,038 I_{K4}^{(3)}, (кА)$	12,5	>	0,465
$I_{Пл.вст.} \leq 0,038 I_{K4}^{(3)}, (A)$	100	<	465

Как видно, указанный предохранитель отвечает всем требованиям.

8.4 Выбор и проверка рубильника

Рубильник рассчитывается на максимальный ток трансформатора со стороны НН:

$$I_{МАКС} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{НОМ.С.}} \cdot \quad (25)$$

Рубильник выбирается, исходя из условий:

$$\begin{aligned} U_{НОМ} &\geq U_{НОМ.С.} \\ I_{НОМ} &\geq I_{МАКС} \cdot \end{aligned} \quad (26)$$

Проверка на электродинамическую стойкость заключается в сравнении двух токов:

$$i_{ДИН} \geq i_{УК5} \cdot \quad (27)$$

где $i_{ДИН}$ – ток электродинамической стойкости, $кА$;

$i_{УК5}$ – ударный ток ступени КЗ, $кА$.

Предварительно был выбран рубильник РЕ-19 1000А УЗ, параметры которого представлены в таблице 18 (см. с. 75 настоящей работы).

Таблица 18 – Параметры рубильника

$U_{НОМ}$	$I_{НОМ}$	$i_{ДИН}$	$I_{ТЕРМ}$	$t_{ТЕРМ}$
$кВ$	$А$	$кА$		$с$
0,38	1000	18	-	-

Проводим проверку рубильника.

Данные об условиях и проверки представлены в таблице 19 (см. с. 76 настоящей работы).

Таблица 19 – Проверка рубильника

УСЛОВИЕ	ПАРАМЕТРЫ		
$U_{НОМ} \geq U_{НОМ.С.}, (кВ)$	0,38	=	0,38
$I_{НОМ} \geq I_{МАКС}, (А)$	1000	>	744,8
$i_{ДИН} \geq i_{УК5}, (кА)$	18	>	12,234

Как видно, выбранный рубильник отвечает всем требованиям.

8.5 Выбор автоматических выключателей у потребителей

Автоматический выключатель должен отвечать условиям выбора по напряжению и току:

$$\begin{aligned} U_{НОМ} &\geq U_{НОМ.С.} \\ I_{Т.Р.} &\geq 1,2 \cdot I_{РАБ} \end{aligned} \quad (28)$$

Рабочий ток, рассчитывают, как и прежде, на основании полной мощности потребителя.

Автомат должен быть проверен по предельной отключающей способности:

$$I_{ОТКЛ} \geq I_K^{(3)}. \quad (29)$$

Предельный отключающий ток для автоматов ВА47-29 составляет 4500 А, для автоматов ВА-47-100 – 10000 А, а для автоматов ВА57-39 – 30000 А.

Коэффициент чувствительности электромагнитного расцепителя к однофазному току КЗ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К}}^{(1)}}{I_{\text{ЭП}}} \geq 1,5. \quad (30)$$

В случае, если это условие не выполняется необходимо выбирать дифференциальный автомат.

Сведём расчёт в таблицу 20 (см. с. 77 настоящей работы).

Таблица 20 – Выбор автоматических выключателей

Наименование		U	$I_{\text{РАБ}}$	$1,2I_{\text{РАБ}}$	$I_{\text{К}}^{(3)}$	$I_{\text{К}}^{(1)}$	МАРКА	$I_{\text{T.}}$	$I_{\text{ЭМ.}}$	$K_{\text{ч}}$
		кВА	А					А		<i>о. е.</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВРУ/6		0,400	388,59	427,45	7154	4490	ВА57-39-4P	500	5000	0,898
1	РП1/8	0,400	63,43	69,77	5615	3365	ВА47-100-4P	80	800	4,206
A	Н1.1-1.2	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2P	16	160	2,805
B	Н1.3-1.4	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2P	16	160	2,805
C	Н1.5-1.6	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2P	16	160	2,805
A	Н1.7-1.8	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2P	16	160	2,805
2	ГРЩ О1/12	0,400	22,07	24,28	1055	530	ВА47-29-4P	25	250	2,120
A	О1.1	0,230	7,49	8,24	351	222	ВА47-29-2P	10	100	2,215
B	О1.2	0,230	7,25	7,97	399	243	ВА47-29-2P	8	80	3,033
C	О1.3	0,230	7,28	8,01	373	231	ВА47-29-2P	10	100	2,314
A	О1.4	0,230	5,42	5,97	306	200	ВА47-29-2P	8	80	2,502
B	О1.5	0,230	5,37	5,90	277	185	ВА47-29-2P	8	80	2,313
C	О1.6	0,230	5,40	5,94	313	203	ВА47-29-2P	8	80	2,541
A	О1.7	0,230	7,22	7,94	348	220	ВА47-29-2P	8	80	2,752
B	О1.8	0,230	7,24	7,96	378	233	ВА47-29-2P	8	80	2,918
C	О1.9	0,230	7,43	8,18	363	227	ВА47-29-2P	10	100	2,269
A	О1.10	0,230	7,29	8,02	369	229	ВА47-29-2P	10	100	2,293
B	О1.11	0,230	7,02	7,72	317	205	ВА47-29-2P	8	80	2,566
C	О1.12	0,230	7,02	7,72	349	220	ВА47-29-2P	8	80	2,754
3	РЩ СПЕЦ-О/6	0,400	10,58	11,64	513	256	ВА47-29-4P	13	130	1,967

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	ОА.1	0,230	3,95	4,35	180	111	BA47-29-2P	5	50	2,221
B	ОА.2	0,230	3,95	4,35	188	115	BA47-29-2P	5	50	2,296
C	ОА.3	0,230	3,95	4,35	204	121	BA47-29-2P	5	50	2,423
A	ОТ.1	0,230	7,27	8,00	264	144	BA47-29-2P	8	80	1,799
B	ОТ.2	0,230	7,27	8,00	275	148	BA47-29-2P	8	80	1,845
C	ОТ.3	0,230	7,27	8,00	256	141	BA47-29-2P	8	80	1,763
4	РПО - СПЕЦ./17	0,400	243,19	267,51	6652	4118	BA57-39-4P	320	3200	1,287
3Ф	C1.1	0,400	63,59	69,95	2145	-	BA47-100-3P	80	800	-
3Ф	C1.2	0,400	8,32	9,15	408	-	BA47-29-3P	10	100	-
A	C1.3	0,230	1,33	1,47	139	118	BA47-29-2P	2	20	5,917
3Ф	C1.4	0,400	30,33	33,36	1226	-	BA47-29-3P	40	400	-
	C1.5	0,400	1,26	1,39	253	-	BA47-29-3P	2	20	-
	C1.6	0,400	3,29	3,61	255	-	BA47-29-3P	5	50	-
	C1.7	0,400	5,31	5,84	296	-	BA47-29-3P	6	60	-
A	C1.8	0,230	14,72	16,19	596	483	BA47-29-2P	16	160	3,016
C	C1.9	0,230	2,30	2,53	892	700	BA47-29-2P	3	30	23,348
A	C1.10	0,230	1,26	1,39	88	76	BA47-29-2P	2	20	3,783
C	C1.11	0,230	11,27	12,40	197	167	BA47-29-2P	13	130	1,282
B	C1.12	0,230	12,27	13,49	596	482	BA47-29-2P	16	160	3,015
	C1.13	0,230	18,17	19,99	441	364	BA47-29-2P	20	200	1,819
	C1.14	0,230	27,60	30,36	638	516	BA47-29-2P	32	320	1,612
	C1.15	0,230	20,45	22,50	695	559	BA47-29-2P	25	250	2,235
C	C1.16	0,230	2,39	2,63	124	105	BA47-29-2P	3	30	3,516
3Ф	C1.17	0,400	5,02	5,52	255	-	BA47-29-3P	6	60	-
5	РП2/8	0,400	63,43	69,77	4892	2779	BA47-100-4P	80	800	3,473
A	H2.1-2.2	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
B	H2.3-2.4	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
C	H2.5-2.6	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
C	H2.7-2.8	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
6	ГРЩ О2/12	0,400	22,86	25,15	1013	508	BA47-29-4P	32	320	1,589
A	O2.1	0,230	7,58	8,34	340	214	BA47-29-2P	10	100	2,139
B	O2.2	0,230	7,89	8,68	380	231	BA47-29-2P	10	100	2,314
C	O2.3	0,230	8,02	8,82	356	221	BA47-29-2P	10	100	2,211
A	O2.4	0,230	5,12	5,63	298	194	BA47-29-2P	6	60	3,231
B	O2.5	0,230	5,13	5,65	267	178	BA47-29-2P	6	60	2,974
C	O2.6	0,230	5,13	5,65	304	197	BA47-29-2P	6	60	3,283
A	O2.7	0,230	7,71	8,48	338	213	BA47-29-2P	10	100	2,127
B	O2.8	0,230	7,61	8,37	367	226	BA47-29-2P	10	100	2,261
C	O2.9	0,230	7,72	8,50	351	219	BA47-29-2P	10	100	2,189
A	O2.10	0,230	7,29	8,02	352	219	BA47-29-2P	10	100	2,192
B	O2.11	0,230	7,02	7,72	310	200	BA47-29-2P	8	80	2,495
C	O2.12	0,230	8,11	8,92	340	214	BA47-29-2P	10	100	2,138

Как видно, все автоматы отвечают проверке на отключающую способность и не все автоматы отвечают параметрам коэффициента чувствительности. В таблице отмечено серым цветом, где коэффициент чувствительности меньше допустимого значения.

Выбираем для этих потребителей дифференциальные автоматы.

Надо иметь ввиду, что отечественные дифференциальные автоматы производятся только на ток уставки до 63 А. Вводные автоматы комплектуем с УЗО на токи 500 и 320 А, соответственно. Для потребителя С1.11 выбираем автомат АД14 2Р на ток 16 А.

Перевыберем автоматы и запишем данные в таблицу 21 (см. с. 79 настоящей работы).

Таблица 21 – Корректировка выбранных автоматических выключателей

Наименование		U	$I_{РАБ}$	$1,2I_{РАБ}$	$I_K^{(3)}$	$I_K^{(1)}$	МАРКА	I_T	$I_{ЭМ.}$	K_{ψ}
		кВА	А					А		о. е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВРУ/6		0,400	388,59	427,45	7154	4490	ВА57-39-4Р	500	5000	УЗО
1	РП1/8	0,400	63,43	69,77	5615	3365	ВА47-100-4Р	80	800	4,206
А	Н1.1-1.2	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2Р	16	160	2,805
В	Н1.3-1.4	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2Р	16	160	2,805
С	Н1.5-1.6	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2Р	16	160	2,805
А	Н1.7-1.8	0,230	12,47	13,72	562	449	ВА47-29-2Р	16	160	2,805
2	ГРЩ О1/12	0,400	22,07	24,28	1055	530	ВА47-29-4Р	25	250	2,120
А	О1.1	0,230	7,49	8,24	351	222	ВА47-29-2Р	10	100	2,215
В	О1.2	0,230	7,25	7,97	399	243	ВА47-29-2Р	8	80	3,033
С	О1.3	0,230	7,28	8,01	373	231	ВА47-29-2Р	10	100	2,314
А	О1.4	0,230	5,42	5,97	306	200	ВА47-29-2Р	8	80	2,502
В	О1.5	0,230	5,37	5,90	277	185	ВА47-29-2Р	8	80	2,313
С	О1.6	0,230	5,40	5,94	313	203	ВА47-29-2Р	8	80	2,541
А	О1.7	0,230	7,22	7,94	348	220	ВА47-29-2Р	8	80	2,752
В	О1.8	0,230	7,24	7,96	378	233	ВА47-29-2Р	8	80	2,918
С	О1.9	0,230	7,43	8,18	363	227	ВА47-29-2Р	10	100	2,269
А	О1.10	0,230	7,29	8,02	369	229	ВА47-29-2Р	10	100	2,293
В	О1.11	0,230	7,02	7,72	317	205	ВА47-29-2Р	8	80	2,566
С	О1.12	0,230	7,02	7,72	349	220	ВА47-29-2Р	8	80	2,754
3	РЩ СПЕЦ-О/6	0,400	10,58	11,64	513	256	ВА47-29-4Р	13	130	1,967

Продолжение таблицы 21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	ОА.1	0,230	3,95	4,35	180	111	BA47-29-2P	5	50	2,221
B	ОА.2	0,230	3,95	4,35	188	115	BA47-29-2P	5	50	2,296
C	ОА.3	0,230	3,95	4,35	204	121	BA47-29-2P	5	50	2,423
A	ОТ.1	0,230	7,27	8,00	264	144	BA47-29-2P	8	80	1,799
B	ОТ.2	0,230	7,27	8,00	275	148	BA47-29-2P	8	80	1,845
C	ОТ.3	0,230	7,27	8,00	256	141	BA47-29-2P	8	80	1,763
4	РПО - СПЕЦ./17	0,400	243,19	267,51	6652	4118	BA57-39-4P	320	3200	УЗО
3Ф	C1.1	0,400	63,59	69,95	2145	-	BA47-100-3P	80	800	-
3Ф	C1.2	0,400	8,32	9,15	408	-	BA47-29-3P	10	100	-
A	C1.3	0,230	1,33	1,47	139	118	BA47-29-2P	2	20	5,917
3Ф	C1.4	0,400	30,33	33,36	1226	-	BA47-29-3P	40	400	-
	C1.5	0,400	1,26	1,39	253	-	BA47-29-3P	2	20	-
	C1.6	0,400	3,29	3,61	255	-	BA47-29-3P	5	50	-
	C1.7	0,400	5,31	5,84	296	-	BA47-29-3P	6	60	-
A	C1.8	0,230	14,72	16,19	596	483	BA47-29-2P	16	160	3,016
C	C1.9	0,230	2,30	2,53	892	700	BA47-29-2P	3	30	23,348
A	C1.10	0,230	1,26	1,39	88	76	BA47-29-2P	2	20	3,783
C	C1.11	0,230	11,27	12,40	197	167	АД14 2P	16	160	-
B	C1.12	0,230	12,27	13,49	596	482	BA47-29-2P	16	160	3,015
	C1.13	0,230	18,17	19,99	441	364	BA47-29-2P	20	200	1,819
	C1.14	0,230	27,60	30,36	638	516	BA47-29-2P	32	320	1,612
	C1.15	0,230	20,45	22,50	695	559	BA47-29-2P	25	250	2,235
C	C1.16	0,230	2,39	2,63	124	105	BA47-29-2P	3	30	3,516
3Ф	C1.17	0,400	5,02	5,52	255	-	BA47-29-3P	6	60	-
5	РП2/8	0,400	63,43	69,77	4892	2779	BA47-100-4P	80	800	3,473
A	H2.1-2.2	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
B	H2.3-2.4	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
C	H2.5-2.6	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
C	H2.7-2.8	0,230	12,47	13,72	532	422	BA47-29-2P	16	160	2,636
6	ГРЩ О2/12	0,400	22,86	25,15	1013	508	BA47-29-4P	32	320	1,589
A	O2.1	0,230	7,58	8,34	340	214	BA47-29-2P	10	100	2,139
B	O2.2	0,230	7,89	8,68	380	231	BA47-29-2P	10	100	2,314
C	O2.3	0,230	8,02	8,82	356	221	BA47-29-2P	10	100	2,211
A	O2.4	0,230	5,12	5,63	298	194	BA47-29-2P	6	60	3,231
B	O2.5	0,230	5,13	5,65	267	178	BA47-29-2P	6	60	2,974
C	O2.6	0,230	5,13	5,65	304	197	BA47-29-2P	6	60	3,283
A	O2.7	0,230	7,71	8,48	338	213	BA47-29-2P	10	100	2,127
B	O2.8	0,230	7,61	8,37	367	226	BA47-29-2P	10	100	2,261
C	O2.9	0,230	7,72	8,50	351	219	BA47-29-2P	10	100	2,189
A	O2.10	0,230	7,29	8,02	352	219	BA47-29-2P	10	100	2,192
B	O2.11	0,230	7,02	7,72	310	200	BA47-29-2P	8	80	2,495
C	O2.12	0,230	8,11	8,92	340	214	BA47-29-2P	10	100	2,138

Обратим внимание, что потребители крупных групп (ВРУ и спец. оборудования) комплектуются с УЗО.

8.6 Выбор и проверка автоматических выключателей на РУ НН

Автоматы выбираются из тех же соображений, что и автоматы у потребителей. Однако, ток уставки автомата должен быть, по крайней мере, на одну ступень выше, чем ток уставки самого мощного автомата у потребителя.

В качестве рабочего тока принимается ток в линии. Выберем автоматические выключатели на РУ НН. Сведём расчёт в таблицу 22 (см. с. 81 настоящей работы).

Таблица 22 – Выбор автоматических выключателей на подстанции

Наименование		U	$I_{РАБ}$	$1,2I_{РАБ}$	$I_K^{(3)}$	$I_K^{(1)}$	МАРКА	I_T	$I_{ЭМ.}$	K_U
		кВА	А					А		о. е.
ШИНЫ РУ НН/К4		0,4	744,78	893,74	12125	11214	ВА-99/800	1000	10000	-
ВРУ/К5	ВРУ 2	0,400	85,88	103,06	1723	859	ВА47-100-4P	100	1000	0,859
	ВРУ 3	0,230	4,75	5,70	522	256	ВА47-29-4P	6	60	4,269
	ВРУ 4	0,230	53,02	63,63	1290	636	ВА47-29-4P	63	630	1,010
	ВРУ 5	0,230	15,30	18,36	1289	588	ВА47-29-4P	16	160	3,677
	ВРУ 6	0,230	2,79	3,34	414	204	ВА47-29-4P	3	30	6,816
	ВРУ 7	0,400	10,32	12,38	506	249	ВА47-29-4P	13	130	1,912
	ВРУ 8	0,230	17,78	21,33	842	403	ВА47-29-4P	20	200	2,015
	ВРУ 9	0,230	108,30	129,96	2274	1094	ВА47-100-4P	125	1250	0,876
	ВРУ 10	0,230	8,02	9,63	570	279	ВА47-29-4P	10	100	2,788
	ВРУ 11	0,230	40,28	48,34	1388	692	ВА47-29-4P	50	500	1,384
	ВРУ 12	0,230	1,39	1,67	744	359	ВА47-29-4P	2	20	17,972
	ВРУ 13	0,230	1,08	1,30	636	310	ВА47-29-4P	2	20	15,487
	ВРУ 14	0,230	80,83	96,99	1457	726	ВА47-100-4P	100	1000	0,726
	ВРУ 15	0,230	0,56	0,67	443	218	ВА47-29-4P	2	20	10,913
ВРУ 16	0,230	5,05	6,06	587	287	ВА47-29-4P	6	60	4,780	
ВРУ 17	0,230	5,81	6,97	183	-	ВА47-29-3P	8	80	-	

Автоматы 2,4,9,11 и 14 выбираем как дифференциальные.

Выводы. Был произведен выбор и проверка оборудования.

Заключение

В настоящей работе было проведено проектирование системы электроснабжения больничного городка.

По степени надежности потребители больничного городка относятся к II и I категориям надёжности, из числа которых выделена группа электроприёмников I особой категории:

- приборы обеспечения пожарной сигнализации,
- аварийное эвакуационное освещение и аварийное освещение безопасности,
- помещения предоперационной, патологоанатомические отделения и палаты интенсивной терапии.

Требуемая категория надёжности потребителей обеспечивается:

- секционированием шин РУ НН-0,4 кВ с соответствующим выводом повреждённого участка из работы, и вводом его посредством АВР;
- применением автономных источников бесперебойного питания;
- применением дизель-генератора.

Источником электроснабжения больничного городка является РУНН-10 кВ подстанции «Лянторская» (Россети Тюмень), находящиеся по адресу: ХМАО-Югра, г. Лянтор, ул. Эстонских Дорожников. На подстанции установлено два трансформатора ТДТН-25000/110/35/10.

Питание электроприёмников осуществляется от КТП, находящийся на территории больничного городка, 2БКТП-400/10/0,4 с установленными трансформаторами ТМГ-400/10/0,4. Ввод в КТП – воздушный.

Местоположение КТП – рационально, и выбрано на основании расчёта центра электрических нагрузок.

Питание зданий больничного городка осуществляется кабелями ААбл – 1, проложенными в траншеях, сечениями согласно таблицы 8 (см. с. 44 настоящей работы). Питание уличного освещения территории больничного городка осуществляется кабелем СИП-4, по воздуху.

Питание ответственных потребителей поликлиники осуществляется кабелями марки ВВГнг(А)-FRLSLTx, сечениями согласно таблицы 9 (см. с. 48 настоящей работы), проложенными в лотках.

Питание групповых сетей поликлиники осуществляется кабелями марки ППГнг(А)-HF, сечением согласно таблицы 10 (см. с. 49 настоящей работы), проложенными скрыто.

На шинах КРУ ВН -10 кВ установлены: разъединители РЛНД.1-10.П/200 УХЛ1, ограничители перенапряжения ОПН-1-10/12ШУХЛ1, предохранители ПКТ-103-10-100-12,5 УЗ, трансформаторы тока ТОЛ-2-0,5/0,2s/5Р.

На шинах РУНН-0,4 кВ установлены: рубильники РЕ-19-1000, трансформаторы тока ТТИ-85-0,5. Защиты выполняют шинные автоматические выключатели ВА99/800-1000, секционный автоматический выключатель принят на уставку на ступень ниже: ВА99/800-800.

На отходящих фидерах установлены автоматические выключатели согласно таблице 22 (см. с. 81 настоящей работы). На групповых сетях поликлиники установлены автоматические выключателя согласно таблице 21 (см. с. 79 настоящей работы).

При расчёте аварийного освещения, показано:

- стоимость осветительной установки, выполненной лампами накаливания существенно ниже, чем для установки, выполненной светодиодными светильниками (24 тыс. руб. против 35 тыс. руб.);

- стоимость единовременных затрат осветительной установки, выполненной лампами накаливания существенно выше, чем для установки, выполненной светодиодными светильниками (126 тыс. руб. против 35 тыс. руб.);

- стоимость резерва одного киловатта мощности установки, выполненной светодиодными светильниками ниже (145,8 тыс. руб. против 157,5 тыс. руб.), то есть, отличается на 7,42 %.

Учитывая норму амортизации 6,7 %, сроки окупаемости не превысят одного года.

Список используемой литературы и источников

1. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин = State system for ensuring the uniformity of measurements. Units of quantities : межгос. стандарт : изд-во офиц. : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 6 ноября 2002 г. № 22) : введ. в действие Постановлением Государственного комитета РФ по стандартизации и метрологии от 04 февраля 2003 г. № 38-ст : взамен ГОСТ 8.417-81 : дата введения 2003 – 09 – 01 / разработ. ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Техническим комитетом по стандартизации ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы»; внесён Госстандартом России. Переизд. с изм. 1 (ИУС 12-2003) [Электронный ресурс]. М. : Стандартинформ, 2018. 27 с. 36 экз. УДК 53.081:006.354. Текст (визуальный): непосредственный.

2. ГОСТ Р 50571.15-97. Государственный стандарт Российской Федерации Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования.

3. ГОСТ Р 50571.28-2006. Электроустановки зданий. Часть 7-710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений : нац. стандарт РФ : изд-во офиц. : введ. в действие приказом Федерального агентства по технич. регулированию и метрологии от 27 декабря 2006 г. № 413-ст : введён впервые : дата введения 2007 – 03 – 01 / подготовлен ВНИИНМАШ ; внесён ТК 337 «Электроустановки зданий». 1-е изд. М. : Стандартинформ, 2007. 32 с. УДК621.327.524.25:006.354. Текст (визуальный) : электронный // юр. фирма «Интернет и право» : internet-law.ru. Режим доступа : свободный. URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost/74079/> (дата обращения : 2024 – 10 – 18).

4. Правила устройств электроустановок. 7-е изд. М. : Изд-во НИЦ ЭНАС, 2003. 692 с.

5. Приказ Минпромэнерго РФ № 380. О порядке расчета значений

соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электроэнергии. Введ. 23–06–15 г. Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minenergo-rossii-ot-23062015-n-380/>, свободный. Загл. с экрана.

6. Радкевич В. Н., Мильто А. В., Супрунюк А. В. Оценка показателей качества и энергоэффективности силовых распределительных трансформаторов, применяемых на промышленных предприятиях // Энергоэффективность. Минск: Белинвестэнергосбережение, 2017. № 8. С. 26–30.

7. Рожкова Л. Д., Корнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учебник для сред. проф. образования : М. Издательский центр «Академия», 2004. 448 с.

8. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Сибирский федеральный университет. Учебное пособие. Красноярск : КГТУ, 2012 г. 68 с.

9. Руководящий технический материал. Указания по расчёту электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4.-92. М. : ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992. 26 с.

10. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / ред. Б. Н. Неклепаев. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. 152 с.

11. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. М.: ГП ЦПП, 1995. Текст (визуальный): электронный // юр. фирма «Интернет и право»: internet-law.ru. – Режим доступа: свободный. URL : <https://internet-law.ru/stroyka/text/1898/> (дата обращения: 2024 – 10 – 18).

12. Синенко Л. С., Попов Ю. П., Рубан Т. П., Сизганова Е. Ю. Электроснабжение : учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию : в 2 ч. Ч. 1 / Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. 135 с.

13. СНиП 23 – 05 – 95*. Естественное и искусственное освещение: строительные нормы и правила: утв. и введ. в действие

Постановлением Минстроя России от 2 августа 1995 г. № 18-78 [Электронный ресурс]. Текст (визуальный) : электронный // юр. фирма «Интернет и право» : internet-law.ru. Режим доступа : свободный. URL : <https://internet-law.ru/stroyka/text/1898/> (дата обращения: 2024 – 10 – 18).

14. Кабышев А. В., Обухов С. Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учеб. пособие / Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 248 с.

15. Каталог электротехнической продукции [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный : URL : <http://www.energocentr.ru/> (дата обращения: 2024 – 10 – 18).

16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. (Официальное издание. Утверждено Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике, Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, 5-ая редакция, 2014).

17. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Проектирование систем электроснабжения» для студентов направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям). / Сост.: А. А. Авершин. Стаханов: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля», 2021. 147 с.

18. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов / 5-е изд., стер. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 608 с.

19. Шведов Г.В. Городские электрические распределительные сети / М.: Изд-во МЭИ, 2011.

20. Электрическое освещение: справочник / Козловская В. Б., Радкевич В. Н., Сацукевич В. Н. 2-е изд. Минск: «Техноперспектива», 2008. 271 с. ил. УДК [621.32+628.97] (035.5). Текст (визуальный) : непосредственный.

Приложение А
Результаты светотехнического расчёта

Таблица А.1 – Результаты светотехнического расчёта для левого северного крыла 1-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		M^2	лк	шт.	лм		шт.	лк	%	Вт		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.1.01	Тамбур	9,5	100	1	1690,8	1650	1,0	1	98	2,41	15	15
1.1.02	Вестибюль-ожидальня	101,6	150	5	5424,7	2600	2,1	2	144	4,14	25	250
1.1.03	Пост охраны	6	200	1	2135,7	2200	1,0	1	206	3,01	18	18
1.1.04	Справочная-регистратура	10	200	2	1779,8	900	2,0	2	202	1,14	11	44
1.1.05	Смотровая	23,3	300	1	12440,5	3150	3,9	4	304	1,28	27	108
1.1.06	Смотровая	14,9	300	1	7955,5	2600	3,1	3	294	1,96	25	75
1.1.07	Коридор	56,1	200	3	6656,3	3150	2,1	2	189	5,35	27	162
1.1.08	Смотровая	21,4	300	1	11426,1	2200	5,2	5	289	3,73	18	90
1.1.09	Перевязочная	23	300	1	12280,4	3150	3,9	4	308	2,60	27	108
1.1.11	Кабинет функциональной диагностики	22,4	300	1	11960,0	3150	3,8	4	316	5,35	27	108
1.1.12	Помещение переодевания в больничную одежду	3,9	100	1	694,1	700	1,0	1	101	0,85	8	8
1.1.13	Помещение переодевания в больничную одежду	4,4	100	1	783,1	240	3,3	3	92	8,06	3	9
1.1.14	Кабинет заведующего отделением	20,5	300	2	5472,8	2600	2,1	2	285	4,98	25	100
1.1.15	Комната старшей медицинской сестры	12,5	300	1	6674,1	3150	2,1	2	283	5,61	27	54
1.1.16	Ординаторская	20,8	200	1	7403,8	3700	2,0	2	200	0,05	28	56
1.1.17	Комната дежурного врача	14,3	300	2	3817,6	3700	1,0	1	291	3,08	28	56
1.1.18	Коридор	44,2	200	1	15733,1	3150	5,0	5	200	0,11	27	135

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.1.19	Комната персонала	12,9	200	2	2295,9	2200	1,0	1	192	4,18	18	36
1.1.20	Помещение хранения чистого белья	5,1	100	1	907,7	900	1,0	1	99	0,85	11	11
1.1.21	Помещение хранения чистых материалов и медикаментов	7,3	100	1	1299,2	1200	1,1	1	92	7,64	12	12
1.1.22	Туалет	4,3	200	2	765,3	700	1,1	1	183	8,53	8	16
1.1.23	Туалет	4,7	200	2	836,5	900	0,9	1	215	7,59	11	22
1.1.24	Помещение временного хранения вещей больных	6,1	75	1	814,2	240	3,4	3	66	11,57	3	9
1.1.25	Помещение хранения предметов уборки и дезинфицирующих средств	4,2	100	1	747,5	700	1,1	1	94	6,35	8	8
1.1.26	Коридор	3,6	200	2	640,7	600	1,1	1	187	6,35	6	12
1.1.27	Санитарная комната	7,9	200	1	2812,0	2600	1,1	1	185	7,54	25	25
1.1.28	Туалет	4,2	200	2	747,5	700	1,1	1	187	6,35	8	16
1.1.29	Туалет	4,6	200	2	818,7	900	0,9	1	220	9,93	11	22
1.1.30	Туалет ММГН	4,3	200	2	765,3	700	1,1	1	183	8,53	8	16
1.1.31	Коридор	121,3	200	2	21588,5	3150	6,9	7	204	2,14	27	378
1.1.32	Шлюз	6,4	75	1	854,3	900	0,9	1	79	5,35	11	11
1.1.33	Противошоковый зал	40,4	300	2	10785,4	3700	2,9	3	309	2,92	28	168
1.1.34	Подготовительная персонала	11,8	200	1	4200,2	2200	1,9	2	210	4,76	18	36
1.1.35	Шлюз	8,8	75	1	1174,6	600	2,0	2	77	2,16	6	12
1.1.36	Процедурная ангиографии	48,9	300	2	13054,6	3150	4,1	4	290	3,48	27	216
1.1.37	Предоперационная	13	500	1	11568,5	3700	3,1	3	480	4,05	6	18
1.1.38	Помещение медперсонала	6,1	150	1	1628,5	900	1,8	2	166	10,53	11	22
1.1.39	Помещение временного пребывания	13,2	150	1	3523,9	3700	1,0	1	157	5,00	6	6
1.1.40	Техническое помещение	11,7	75	1	1561,7	700	2,2	2	67	10,36	8	16

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.1.41	Комната управления	10,9	300	1	5819,8	3150	1,8	2	325	8,25	27	54
1.1.42	Тамбур	8,2	100	1	1459,4	700	2,1	2	96	4,07	8	16
1.1.43	Санитарный пропускник	18	200	1	6407,1	3150	2,0	2	197	1,67	27	54
1.1.44	Санузел	6,3	200	1	2242,5	2200	1,0	1	196	1,90	18	18
1.1.45	Тамбур	6,1	100	1	1085,7	1000	1,1	1	92	7,89	10	10
1.1.46	Шлюз	6,1	75	1	814,2	900	0,9	1	83	10,53	11	11
1.1.47	Тамбур	6,1	100	1	1085,7	1000	1,1	1	92	7,89	10	10
1.1.48	Санузел	5,2	200	1	1851,0	900	2,1	2	194	2,75	11	22
1.1.49	Изолятор	17,3	200	1	6158,0	3150	2,0	2	205	2,31	27	54
1.1.50	Шлюз	9,4	75	2	627,4	600	1,0	1	72	4,36	6	12
1.1.51	Процедурная	20,3	200	2	3612,9	3700	1,0	1	205	2,41	6	12
1.1.52	Душевая	3	200	1	1067,9	1000	1,1	1	187	6,35	10	10
1.1.53	Душевая	3	200	1	1067,9	1000	1,1	1	187	6,35	10	10
1.1.54	Помещение хранения каталок	6,1	100	1	1085,7	1000	1,1	1	92	7,89	10	10
ИТОГО, Вт												2787

Таблица А.2 – Результаты светотехнического расчёта для левого южного крыла 1-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		M^2	лк	шт.	лм		шт.	лк	%	Вт		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.2.01	Коридор	106,1	200	1	37766,5	3700	10,2	10	196	2,03	28	280

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.2.02	Просмотровая-печать снимков	18,7	300	2	4992,2	2600	1,9	2	312	4,16	25	100
1.2.03	Комната персонала	18,9	200	1	6727,5	3150	2,1	2	187	6,35	27	54
1.2.04	Кабинет врачей-рентгенологов	19,5	300	2	5205,8	2600	2,0	2	300	0,11	25	100
1.2.05	Помещение оцифровки снимков	14,7	300	1	7848,8	2600	3,0	3	298	0,62	25	75
1.2.06	Помещение предстерильной обработки	7,8	200	1	2776,4	2600	1,1	1	187	6,35	25	25
1.2.07	Помещение хранения уборочного инвентаря	3,9	100	1	694,1	700	1,0	1	101	0,85	8	8
1.2.08	Туалет	3,5	200	1	1245,8	1200	1,0	1	193	3,68	12	12
1.2.09	Туалет	3,4	200	1	1210,2	1200	1,0	1	198	0,85	12	12
1.2.10	Техническое помещение	17,1	100	1	3043,4	3150	1,0	1	104	3,50	27	27
1.2.11	Комната управления	16,8	300	2	4485,0	2200	2,0	2	294	1,90	18	72
1.2.12	Подготовительная с кабиной	20,2	200	1	7190,2	3700	1,9	2	206	2,92	28	56
1.2.13	Процедурная МРТ	56,9	300	2	15190,3	3700	4,1	4	292	2,57	28	224
1.2.15	Процедурная рентген-диагностики	41,7	300	2	11132,4	3700	3,0	3	299	0,29	28	168
1.2.16	Раздевальная	10,5	150	1	2803,1	1000	2,8	3	161	7,02	10	30
1.2.17	Помещение медперсонала	8,1	200	1	2883,2	1000	2,9	3	208	4,05	10	30
1.2.18	Туалет	4,1	200	1	1459,4	700	2,1	2	192	4,07	8	16
1.2.19	Комната управления	17,5	300	2	4671,9	2200	2,1	2	283	5,82	18	72
1.2.20	Процедурная КТ	50,3	300	3	8952,2	3150	2,8	3	317	5,56	27	243
1.2.21	Раздевальная	12,8	150	1	3417,1	3150	1,1	1	138	7,82	27	27
1.2.22	Техническое помещение	17,1	100	3	1014,5	1000	1,0	1	99	1,43	10	30
1.2.23	Комната управления	9,8	300	2	2616,3	2600	1,0	1	298	0,62	25	50
1.2.24	Материальная	6,6	150	2	881,0	900	1,0	1	153	2,16	11	22
1.2.25	Коридор	171,9	200	4	15297,1	3700	4,1	4	194	3,25	28	448
1.2.26	Комната персонала	13,3	200	2	2367,1	2200	1,1	1	186	7,06	18	36

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.2.27	Просмотровая-печать снимков	15,5	300	2	4137,9	2200	1,9	2	319	6,33	18	72
1.2.28	Кабинет заведующего отделением	21	300	2	5606,3	2600	2,2	2	278	7,25	25	100
1.2.29	Кабинет врачей рентгенологов	19,8	300	2	5285,9	2600	2,0	2	295	1,62	25	100
1.2.30	Процедурная рентген-диагностики	41,4	300	3	7368,2	3700	2,0	2	301	0,43	28	168
1.2.31	Раздевальная	9,5	150	2	1268,1	1200	1,1	1	142	5,37	12	24
1.2.32	Комната управления	15	300	2	4004,5	2200	1,8	2	330	9,88	18	72
1.2.33	Туалет	5,8	200	2	1032,3	1000	1,0	1	194	3,13	10	20
1.2.34	Кладовая расходных материалов	10,4	150	1	2776,4	2600	1,1	1	140	6,35	25	25
1.2.35	Материальная	5,3	150	1	1414,9	700	2,0	2	148	1,05	8	16
1.2.36	Тамбур	10,6	100	1	1886,5	900	2,1	2	95	4,59	11	22
1.2.37	Раздевальная	14,2	150	1	3790,9	3700	1,0	1	146	2,40	28	28
1.2.38	Процедурная КТ	53,7	300	3	9557,3	3150	3,0	3	297	1,12	27	243
1.2.39	Техническое помещение КТ	19,4	150	2	2589,6	2600	1,0	1	151	0,40	25	50
1.2.40	Комната управления	9,8	300	2	2616,3	2600	1,0	1	298	0,62	25	50
1.2.41	Подготовительная с кабиной	16,4	200	2	2918,8	3150	0,9	1	216	7,92	27	54
1.2.42	Процедурная МРТ	61	300	4	8142,4	2600	3,1	3	287	4,21	25	300
1.2.43	Техническое управление МРТ	18,2	150	2	2429,4	2600	0,9	1	161	7,02	25	50
1.2.44	Комната управления	11,6	300	2	3096,8	3150	1,0	1	305	1,72	27	54
1.2.45	Коридор	21,8	200	2	3879,9	3700	1,0	1	191	4,64	28	56
1.2.46	Санитарная комната	7,4	150	1	1975,5	1000	2,0	2	152	1,24	10	20
1.2.47	Помещение хранения уборочного инвентаря	4,4	75	1	587,3	600	1,0	1	77	2,16	6	6
1.2.48	Тамбур	10,1	100	1	1797,6	900	2,0	2	100	0,14	11	22
ИТОГО, Вт												3769

Таблица А.3 – Результаты светотехнического расчёта для правого крыла 1-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		$м^2$	$лк$	$шт.$	$лм$		$шт.$		$лк$	$\%$	$Вт$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.3.01	Коридор	64,7	200	3	7676,7	3700	2,1	2	193	3,60	28	168
1.3.02	Зал кинезитерапии	42,5	300	3	7564,0	3700	2,0	2	293	2,17	28	168
1.3.03	Зал ЛФК	21,4	300	3	3808,7	3700	1,0	1	291	2,85	28	84
1.3.04	Зал эрготерапии	19,7	300	2	5259,2	2600	2,0	2	297	1,13	25	100
1.3.05	Кабинет логопеда-психолога	21,1	300	2	5632,9	2600	2,2	2	277	7,69	25	100
1.3.06	Кабинет аппаратной физиотерапии	21,2	300	2	5659,6	2600	2,2	2	276	8,12	25	100
1.3.07	Кабинет УЗИ	19,6	300	2	5232,5	2600	2,0	2	298	0,62	25	100
1.3.08	Кабинет кардио-респираторной диагностики	23,9	300	2	6380,4	3150	2,0	2	296	1,26	27	108
1.3.09	Кабинет заведующего отделением	22,4	300	2	5980,0	3150	1,9	2	316	5,35	27	108
1.3.10	Кабинет старшей сестры	15,5	300	1	8275,9	2600	3,2	3	283	5,75	25	75
1.3.11	Коридор	339,7	200	8	15114,6	3700	4,1	4	196	2,08	28	896
1.3.12	Коридор	3,6	200	1	1281,4	1200	1,1	1	187	6,35	12	12
1.3.13	Санитарная комната	6,8	200	2	1210,2	1200	1,0	1	198	0,85	12	24
1.3.14	Помещение хранения уборочного инвентаря	3,6	75	1	480,5	240	2,0	2	75	0,11	3	6
1.3.15	Помещение хранения чистых материалов и медикаментов	7,1	100	1	1263,6	1200	1,1	1	95	5,04	12	12
1.3.16	Помещение хранения аппаратуры ФД	9,4	100	1	1673,0	900	1,9	2	108	7,59	11	22
1.3.17	Помещение хранения чистого белья	3,6	75	1	480,5	240	2,0	2	75	0,11	3	6
1.3.18	Кабинет ЭЭГ, ЭМГ, РЭГ	16,9	300	2	4511,7	2200	2,1	2	293	2,48	18	72
1.3.19	Кабинет ЭКГ	16,2	300	3	2883,2	2600	1,1	1	271	9,82	25	75
1.3.20	Раздевальная	7,7	150	1	2055,6	2200	0,9	1	161	7,02	18	18
1.3.21	Душевая	2,4	200	2	427,1	240	1,8	2	225	12,37	3	12

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.3.22	Туалет	6,3	200	2	1121,3	1200	0,9	1	214	7,02	12	24
1.3.23	Душевая	2,4	200	2	427,1	240	1,8	2	225	12,37	3	12
1.3.24	Раздевальная	7,4	150	2	987,8	1000	1,0	1	152	1,24	10	20
1.3.25	Зал ЛФК механотерапии	67,5	300	5	7208,0	3700	1,9	2	308	2,66	28	280
1.3.26	Инвентарная	9,4	150	2	1254,7	1200	1,0	1	143	4,36	12	24
1.3.27	Туалет	7,3	200	2	1299,2	1200	1,1	1	185	7,64	12	24
1.3.28	Туалет ММГН	4,2	200	2	747,5	700	1,1	1	187	6,35	8	16
1.3.29	Туалет	7,5	200	3	889,9	900	1,0	1	202	1,14	11	33
1.3.30	Туалет персонала	8	200	1	2847,6	2600	1,1	1	183	8,70	25	25
1.3.31	Туалет персонала	9,9	200	2	1762,0	900	2,0	2	204	2,16	11	44
1.3.32	Комната персонала	12,9	200	2	2295,9	2200	1,0	1	192	4,18	18	36
1.3.33	Кабинет врача терапевта-консультанта	17,1	300	2	4565,1	2200	2,1	2	289	3,62	18	72
1.3.34	Кабинет врача терапевта-консультанта	18,3	300	2	4885,4	2600	1,9	2	319	6,44	25	100
1.3.35	Кабинет врача терапевта-консультанта	16,2	300	2	4324,8	2200	2,0	2	305	1,74	18	72
1.3.36	Кабинет врача терапевта-консультанта	15,9	300	2	4244,7	2200	1,9	2	311	3,66	18	72
1.3.37	Кабинет врача терапевта-консультанта	16	300	2	4271,4	2200	1,9	2	309	3,01	18	72
1.3.38	Кабинет врача терапевта-консультанта	17,4	300	2	4645,2	2200	2,1	2	284	5,28	18	72
1.3.39	Кабинет врача терапевта-консультанта	17,7	300	2	4725,3	2200	2,1	2	279	6,88	18	72
1.3.40	Кабинет врача терапевта-консультанта	17,5	300	2	4671,9	2200	2,1	2	283	5,82	18	72
1.3.41	Кабинет врача терапевта-консультанта	17,3	300	2	4618,5	2200	2,1	2	286	4,73	18	72
1.3.42	Кабинет врача терапевта-консультанта	16	300	2	4271,4	2200	1,9	2	309	3,01	18	72
1.3.43	Процедурная забора крови	15,1	500	2	6718,6	2200	3,1	3	491	1,77	18	108
1.3.25-1	Тамбур	5,5	100	1	978,9	900	1,1	1	92	8,06	11	11
ИТОГО, Вт												3671

Таблица А.4 – Результаты светотехнического расчёта для фронтального отделения 2-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_Φ	θ	P_V	P_Σ
		M^2	лк	шт.	лм		шт.		лк	%	Вт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.0.01	Холл-мансарда	120,6	150	5	6439,2	3150	2,0	2	147	2,16	27	270
2.0.02	Вестибюль	523,6	150	5	27956,5	3150	8,9	9	152	1,41	27	1215
2.0.05	Лестничная клетка	26,6	100	1	4734,2	2600	1,8	2	110	9,84	25	50
2.0.06	Лестничная клетка	26	100	1	4627,4	2200	2,1	2	95	4,91	18	36
2.0.08	Помещение архива	49	300	4	6540,6	3150	2,1	2	289	3,68	27	216
2.0.09	Туалет женский	4,9	200	1	1744,2	600	2,9	3	206	3,20	6	18
2.0.10	Помещение хранения уборочного инвентаря	4,8	100	1	854,3	900	0,9	1	105	5,35	11	11
2.0.11	Туалет мужской	4,7	200	1	1673,0	600	2,8	3	215	7,59	6	18
2.0.12	Туалет ММГН	4,9	200	1	1744,2	600	2,9	3	206	3,20	6	18
2.0.13	Зал общей физической подготовки	110,7	300	5	11821,2	3150	3,8	4	320	6,59	27	540
2.0.14	Зал общей физической подготовки для ММГН	38,2	300	3	6798,7	3150	2,2	2	278	7,34	27	162
2.0.21	Лифтовой холл	39,6	75	1	5285,9	1000	5,3	5	71	5,41	10	50
2.0.22	Коридор	191,5	200	4	17041,2	3700	4,6	5	217	8,56	28	560
2.0.23	Лестничная клетка	27,5	100	2	2447,2	2600	0,9	1	106	6,25	25	50
2.0.24	Тамбур	33,3	100	2	2963,3	3150	0,9	1	106	6,30	27	54
2.0.26	Лифтовой холл	40,5	75	2	2703,0	1000	2,7	3	83	10,99	10	60
2.0.27	Тамбур	33,3	100	2	2963,3	3150	0,9	1	106	6,30	27	54
2.0.28	Лестничная клетка	27,2	100	2	2420,5	2600	0,9	1	107	7,42	25	50
2.0.29	Лестничная клетка	25,3	100	2	2251,4	1200	1,9	2	107	6,60	12	48
2.0.30	Лестничная клетка	25,3	100	2	2251,4	1200	1,9	2	107	6,60	12	48
2.0.31	Лифтовой холл	13,3	75	1	1775,3	1000	1,8	2	84	12,66	10	20
2.0.32	Подсобное помещение	20,5	75	3	912,1	1000	0,9	1	82	9,63	10	30

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.0.33	Перевязочная	27,5	300	3	4894,3	2600	1,9	2	319	6,25	25	150
2.0.34	Помещение для одевания выписывающихся	15	150	2	2002,2	1000	2,0	2	150	0,11	10	40
2.0.35	Техническое помещения (иммоб.)	8,6	150	1	2295,9	2600	0,9	1	170	13,25	25	25
2.0.36	Помещение хранения уборочного инвентаря	3,4	100	1	605,1	600	1,0	1	99	0,85	6	6
2.0.37	Кладовая	8,4	100	1	1495,0	700	2,1	2	94	6,35	8	16
2.0.38	Душевая	1,9	200	1	676,3	600	1,1	1	177	11,28	6	6
2.0.39	Помещение автоклава	11,1	150	2	1481,7	700	2,1	2	142	5,51	8	32
2.0.40	Техническое помещение	5,6	75	1	747,5	700	1,1	1	70	6,35	8	8
2.0.41	Помещение для бесед с врачами	19,3	200	1	6869,9	2600	2,6	3	227	13,54	25	75
2.0.42	Пом. врем. использования одноразовой посуды	1,9	75	1	253,6	240	1,1	1	71	5,37	3	3
2.0.43	Туалет	3,5	200	1	1245,8	700	1,8	2	225	12,37	8	16
2.0.44	Лифтовой холл	13,3	75	1	1775,3	1000	1,8	2	84	12,66	10	20
2.0.45	Помещение АПС	2	200	1	711,9	700	1,0	1	197	1,67	8	8
2.0.46	Помещение АПС	2	200	1	711,9	700	1,0	1	197	1,67	8	8
2.0.47	Помещение СС	3	200	1	1067,9	1000	1,1	1	187	6,35	10	10
2.0.48	Помещение СС	3,5	200	1	1245,8	1200	1,0	1	193	3,68	12	12
2.0.49	Туалет	4,6	200	1	1637,4	700	2,3	2	171	14,50	8	16
2.0.50	Туалет	4,5	200	1	1601,8	700	2,3	2	175	12,60	8	16
ИТОГО, Вт												4045

Таблица А.5 – Результаты светотехнического расчёта для левого северного крыла 2-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		$м^2$	$лк$	$шт.$	$лм$		$шт.$	$лк$	$\%$	$Вт$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.1.01	Тамбур	9,5	100	1	1690,8	1650	1,0	1	98	2,41	15	15
2.1.02	Вестибюль-ожидальня	101,6	150	5	5424,7	2600	2,1	2	144	4,14	8	80
2.1.03	Техническое помещение	6	75	1	800,9	700	1,1	1	66	12,60	18	18
2.1.04	Справочная-регистратура	10	200	2	1779,8	900	2,0	2	202	1,14	11	44
2.1.05	Смотровая	23,3	300	1	12440,5	3150	3,9	4	304	1,28	27	108
2.1.06	Смотровая	14,9	300	1	7955,5	2600	3,1	3	294	1,96	25	75
2.1.07	Коридор	56,1	200	3	6656,3	3150	2,1	2	189	5,35	27	162
2.1.08	Смотровая	21,4	300	1	11426,1	2200	5,2	5	289	3,73	18	90
2.1.09	Перевязочная	23	300	1	12280,4	3150	3,9	4	308	2,60	27	108
2.1.11	Кабинет функциональной диагностики	22,4	300	1	11960,0	3150	3,8	4	316	5,35	27	108
2.1.12	Помещение переодевания в больничную одежду	3,9	100	1	694,1	700	1,0	1	101	0,85	8	8
2.1.13	Помещение переодевания в больничную одежду	4,4	100	1	783,1	240	3,3	3	92	8,06	3	9
2.1.14	Кабинет заведующего отделением	20,5	300	2	5472,8	2600	2,1	2	285	4,98	25	100
2.1.15	Комната старшей медицинской сестры	12,5	300	1	6674,1	3150	2,1	2	283	5,61	27	54
2.1.16	Ординаторская	20,8	200	1	7403,8	3700	2,0	2	200	0,05	28	56
2.1.17	Комната дежурного врача	14,3	300	2	3817,6	3700	1,0	1	291	3,08	28	56
2.1.18	Коридор	44,2	200	1	15733,1	3150	5,0	5	200	0,11	27	135
2.1.19	Комната персонала	12,9	200	2	2295,9	2200	1,0	1	192	4,18	18	36
2.1.20	Помещение хранения чистого белья	5,1	100	1	907,7	900	1,0	1	99	0,85	11	11
2.1.21	Помещение хранения чистых материалов и медикаментов	7,3	100	1	1299,2	1200	1,1	1	92	7,64	12	12
2.1.22	Туалет	4,3	200	2	765,3	700	1,1	1	183	8,53	8	16

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.1.23	Туалет	4,7	200	2	836,5	900	0,9	1	215	7,59	11	22
2.1.24	Помещение временного хранения вещей больных	6,1	75	1	814,2	240	3,4	3	66	11,57	3	9
2.1.25	Помещение хранения предметов уборки и дезинфицирующих средств	4,2	100	1	747,5	700	1,1	1	94	6,35	8	8
2.1.26	Коридор	3,6	200	2	640,7	600	1,1	1	187	6,35	6	12
2.1.27	Санитарная комната	7,9	200	1	2812,0	2600	1,1	1	185	7,54	25	25
2.1.28	Туалет	4,2	200	2	747,5	700	1,1	1	187	6,35	8	16
2.1.29	Туалет	4,6	200	2	818,7	900	0,9	1	220	9,93	11	22
2.1.30	Туалет ММГН	4,3	200	2	765,3	700	1,1	1	183	8,53	8	16
2.1.31	Коридор	121,3	200	2	21588,5	3150	6,9	7	204	2,14	27	378
2.1.32	Шлюз	6,4	75	1	854,3	900	0,9	1	79	5,35	11	11
2.1.33	Противошоковый зал	40,4	300	2	10785,4	3700	2,9	3	309	2,92	28	168
2.1.34	Подготовительная персонала	11,8	200	1	4200,2	2200	1,9	2	210	4,76	18	36
2.1.35	Шлюз	8,8	75	1	1174,6	600	2,0	2	77	2,16	6	12
2.1.36	Процедурная ангиографии	48,9	300	2	13054,6	3150	4,1	4	290	3,48	27	216
2.1.37	Предоперационная	13	500	1	11568,5	3700	3,1	3	480	4,05	6	18
2.1.38	Помещение медперсонала	6,1	150	1	1628,5	900	1,8	2	166	10,53	11	22
2.1.39	Помещение временного пребывания	13,2	150	1	3523,9	3700	1,0	1	157	5,00	6	6
2.1.40	Техническое помещение	11,7	75	1	1561,7	700	2,2	2	67	10,36	8	16
2.1.41	Комната управления	10,9	300	1	5819,8	3150	1,8	2	325	8,25	27	54
2.1.42	Тамбур	8,2	100	1	1459,4	700	2,1	2	96	4,07	8	16
2.1.43	Санитарный пропускник	18	200	1	6407,1	3150	2,0	2	197	1,67	27	54
2.1.44	Санузел	6,3	200	1	2242,5	2200	1,0	1	196	1,90	18	18
2.1.45	Тамбур	6,1	100	1	1085,7	1000	1,1	1	92	7,89	10	10

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.1.46	Шлюз	6,1	75	1	814,2	900	0,9	1	83	10,53	11	11
2.1.47	Тамбур	6,1	100	1	1085,7	1000	1,1	1	92	7,89	10	10
2.1.48	Санузел	5,2	200	1	1851,0	900	2,1	2	194	2,75	11	22
2.1.49	Изолятор	17,3	200	1	6158,0	3150	2,0	2	205	2,31	27	54
2.1.50	Шлюз	9,4	75	2	627,4	600	1,0	1	72	4,36	6	12
2.1.51	Процедурная	20,3	200	2	3612,9	3700	1,0	1	205	2,41	6	12
2.1.52	Душевая	3	200	1	1067,9	1000	1,1	1	187	6,35	10	10
2.1.53	Душевая	3	200	1	1067,9	1000	1,1	1	187	6,35	10	10
2.1.54	Помещение хранения каталок	6,1	100	1	1085,7	1000	1,1	1	92	7,89	10	10
ИТОГО, Вт												2617

Таблица А.6 – Результаты светотехнического расчёта для левого южного крыла 2-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		M^2	лк	шт.	лм		шт.		лк	%	Вт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.2.01	Коридор	106,1	200	1	37766,5	3700	10,2	10	196	2,03	28	280
2.2.02	Кабинет врача гинеколога	18,7	300	2	4992,2	2600	1,9	2	312	4,16	25	100
2.2.03	Комната персонала	18,9	200	1	6727,5	3150	2,1	2	187	6,35	27	54
2.2.04	Кабинет врача венеролога	19,5	300	2	5205,8	2600	2,0	2	300	0,11	25	100
2.2.05	Кабинет врача андролога-уролога	14,7	300	1	7848,8	2600	3,0	3	298	0,62	25	75
2.2.06	Помещение предстерильной обработки	7,8	200	1	2776,4	2600	1,1	1	187	6,35	25	25

Продолжение таблицы А.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.2.07	Помещение хранения уборочного инвентаря	3,9	100	1	694,1	700	1,0	1	101	0,85	8	8
2.2.08	Туалет	3,5	200	1	1245,8	1200	1,0	1	193	3,68	12	12
2.2.09	Туалет	3,4	200	1	1210,2	1200	1,0	1	198	0,85	12	12
2.2.10	Техническое помещение	17,1	100	1	3043,4	3150	1,0	1	104	3,50	27	27
2.2.11	Комната управления	16,8	300	2	4485,0	2200	2,0	2	294	1,90	18	72
2.2.12	Подготовительная с кабиной	20,2	200	1	7190,2	3700	1,9	2	206	2,92	28	56
2.2.13	Процедурная маммографа	56,9	300	2	15190,3	3700	4,1	4	292	2,57	28	224
2.2.15	Конференц-зал	145,3	300	5	15516,0	3700	4,2	4	286	4,61	28	560
2.2.16	Раздевальная	10,5	150	1	2803,1	1000	2,8	3	161	7,02	10	30
2.2.17	Помещение медперсонала	8,1	200	1	2883,2	1000	2,9	3	208	4,05	10	30
2.2.18	Туалет	4,1	200	1	1459,4	700	2,1	2	192	4,07	8	16
2.2.19	Помещение для оцифровки снимков	17,5	300	2	4671,9	2200	2,1	2	283	5,82	18	72
2.2.21	Раздевальная	12,8	150	1	3417,1	3150	1,1	1	138	7,82	27	27
2.2.22	Техническое помещение	17,1	100	3	1014,5	1000	1,0	1	99	1,43	10	30
2.2.23	Комната управления	9,8	300	2	2616,3	2600	1,0	1	298	0,62	25	50
2.2.24	Материальная	6,6	150	2	881,0	900	1,0	1	153	2,16	11	22
2.2.25	Коридор	171,9	200	4	15297,1	3700	4,1	4	194	3,25	28	448
2.2.26	Комната персонала	13,3	200	2	2367,1	2200	1,1	1	186	7,06	18	36
2.2.27	Просмотровая-печать снимков	15,5	300	2	4137,9	2200	1,9	2	319	6,33	18	72
2.2.28	Кабинет заведующего отделением	21	300	2	5606,3	2600	2,2	2	278	7,25	25	100
2.2.29	Кабинет врача онколога	19,8	300	2	5285,9	2600	2,0	2	295	1,62	25	100
2.2.30	Процедурная онкологической диагностики	41,4	300	3	7368,2	3700	2,0	2	301	0,43	28	168
2.2.31	Раздевальная	9,5	150	2	1268,1	1200	1,1	1	142	5,37	12	24
2.2.32	Комната управления	15	300	2	4004,5	2200	1,8	2	330	9,88	18	72

Продолжение таблицы А.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.2.33	Туалет	5,8	200	2	1032,3	1000	1,0	1	194	3,13	10	20
2.2.34	Кладовая расходных материалов	10,4	150	1	2776,4	2600	1,1	1	140	6,35	25	25
2.2.35	Материальная	5,3	150	1	1414,9	700	2,0	2	148	1,05	8	16
2.2.36	Тамбур	10,6	100	1	1886,5	900	2,1	2	95	4,59	11	22
2.2.37	Раздевальная	14,2	150	1	3790,9	3700	1,0	1	146	2,40	28	28
2.2.38	Столовая	53,7	300	3	9557,3	3150	3,0	3	297	1,12	27	243
2.2.39	Помещение для оцифровки снимков	19,4	300	2	5179,1	2600	2,0	2	301	0,40	25	100
2.2.40	Комната управления	9,8	300	2	2616,3	2600	1,0	1	298	0,62	25	50
2.2.41	Подготовительная с кабиной	16,4	200	2	2918,8	3150	0,9	1	216	7,92	27	54
2.2.42	Процедурная флюорографии	61	300	4	8142,4	2600	3,1	3	287	4,21	25	300
2.2.43	Техническое управление флюорографии	18,2	150	2	2429,4	2600	0,9	1	161	7,02	25	50
2.2.44	Комната управления	11,6	300	2	3096,8	3150	1,0	1	305	1,72	27	54
2.2.45	Коридор	21,8	200	2	3879,9	3700	1,0	1	191	4,64	28	56
2.2.46	Санитарная комната	7,4	150	1	1975,5	1000	2,0	2	152	1,24	10	20
2.2.47	Помещение хранения уборочного инвентаря	4,4	75	1	587,3	600	1,0	1	77	2,16	6	6
2.2.48	Тамбур	10,1	100	1	1797,6	900	2,0	2	100	0,14	11	22
ИТОГО, Вт												3968

Таблица А.7 – Результаты светотехнического расчёта для правого крыла 2-ого этажа

№ на плане	Помещение	S	E_H	R	Φ_P	Φ_H	N^*	N	E_ϕ	θ	P_V	P_Σ
		$м^2$	$лк$	$шт.$	$лм$		$шт.$	$лк$	$\%$	$Вт$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.3.01	Коридор	64,7	200	3	7676,7	3700	2,1	2	193	3,60	28	168
2.3.02	Зал ЛФК для детей до 6-и лет	42,5	300	3	7564,0	3700	2,0	2	293	2,17	28	168
2.3.03	Зал центра подготовки семьи	21,4	300	3	3808,7	3700	1,0	1	291	2,85	28	84
2.3.04	Зал заседания МСЭК	19,7	300	2	5259,2	2600	2,0	2	297	1,13	25	100
2.3.05	Кабинет логопеда-психолога	21,1	300	2	5632,9	2600	2,2	2	277	7,69	25	100
2.3.06	Кабинет хирурга-флеболога	21,2	300	2	5659,6	2600	2,2	2	276	8,12	25	100
2.3.07	Кабинет УЗИ	19,6	300	2	5232,5	2600	2,0	2	298	0,62	25	100
2.3.08	Кабинет врача дерматолога	23,9	300	2	6380,4	3150	2,0	2	296	1,26	27	108
2.3.09	Кабинет заведующего отделением	22,4	300	2	5980,0	3150	1,9	2	316	5,35	27	108
2.3.10	Кабинет старшей сестры	15,5	300	1	8275,9	2600	3,2	3	283	5,75	25	75
2.3.11	Коридор	339,7	200	8	15114,6	3700	4,1	4	196	2,08	28	896
2.3.12	Коридор	3,6	200	1	1281,4	1200	1,1	1	187	6,35	12	12
2.3.13	Санитарная комната	6,8	200	2	1210,2	1200	1,0	1	198	0,85	12	24
2.3.14	Помещение хранения уборочного инвентаря	3,6	75	1	480,5	240	2,0	2	75	0,11	3	6
2.3.15	Помещение хранения чистых материалов и медикаментов	7,1	100	1	1263,6	1200	1,1	1	95	5,04	12	12
2.3.16	Помещение хранения снимков	9,4	100	1	1673,0	900	1,9	2	108	7,59	11	22
2.3.17	Помещение хранения чистого белья	3,6	75	1	480,5	240	2,0	2	75	0,11	3	6
2.3.18	Кабинет медико-социальной помощи	16,9	300	2	4511,7	2200	2,1	2	293	2,48	18	72
2.3.19	Кабинет ЭКГ	16,2	300	3	2883,2	2600	1,1	1	271	9,82	25	75
2.3.20	Раздевальная	7,7	150	1	2055,6	2200	0,9	1	161	7,02	18	18
2.3.21	Душевая	2,4	200	2	427,1	240	1,8	2	225	12,37	3	12

Продолжение таблицы А.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.3.22	Туалет	6,3	200	2	1121,3	1200	0,9	1	214	7,02	12	24
2.3.23	Душевая	2,4	200	2	427,1	240	1,8	2	225	12,37	3	12
2.3.24	Раздевальная	7,4	150	2	987,8	1000	1,0	1	152	1,24	10	20
2.3.25	Стоматологическое отделение	67,5	500	6	10011,2	3700	2,7	3	554	10,88	28	504
2.3.26	Инвентарная	9,4	150	2	1254,7	1200	1,0	1	143	4,36	12	24
2.3.27	Туалет	7,3	200	2	1299,2	1200	1,1	1	185	7,64	12	24
2.3.28	Туалет ММГН	4,2	200	2	747,5	700	1,1	1	187	6,35	8	16
2.3.29	Туалет	7,5	200	3	889,9	900	1,0	1	202	1,14	11	33
2.3.30	Туалет персонала	8	200	1	2847,6	2600	1,1	1	183	8,70	25	25
2.3.31	Туалет персонала	9,9	200	2	1762,0	900	2,0	2	204	2,16	11	44
2.3.32	Комната персонала	12,9	200	2	2295,9	2200	1,0	1	192	4,18	18	36
2.3.33	Кабинет врача кардиолога	17,1	300	2	4565,1	2200	2,1	2	289	3,62	18	72
2.3.34	Кабинет врача хирурга	18,3	300	2	4885,4	2600	1,9	2	319	6,44	25	100
2.3.35	Кабинет врача офтальмолога	16,2	300	2	4324,8	2200	2,0	2	305	1,74	18	72
2.3.36	Кабинет врача оториноларинголога	15,9	300	2	4244,7	2200	1,9	2	311	3,66	18	72
2.3.37	Кабинет врача нефролога	16	300	2	4271,4	2200	1,9	2	309	3,01	18	72
2.3.38	Кабинет врача невропатолога	17,4	300	2	4645,2	2200	2,1	2	284	5,28	18	72
2.3.39	Кабинет врача по спортивной медицине	17,7	300	2	4725,3	2200	2,1	2	279	6,88	18	72
2.3.40	Кабинет врача психиатра-консультанта	17,5	300	2	4671,9	2200	2,1	2	283	5,82	18	72
2.3.41	Кабинет врача эндокринолога	17,3	300	2	4618,5	2200	2,1	2	286	4,73	18	72
2.3.42	Кабинет врача физиотерапевта	16	300	2	4271,4	2200	1,9	2	309	3,01	18	72
2.3.43	Кабинет врача психолога-сексолога	15,1	300	2	4031,2	2200	1,8	2	327	9,15	18	72
2.3.25-1	Тамбур	5,5	100	1	978,9	900	1,1	1	92	8,06	11	11
ИТОГО, Вт												3859

Приложение Б

Результаты расчёта токов короткого замыкания

Таблица Б.1 – Итоговая таблица токов КЗ

Наименование, точка КЗ		$U, \text{кВ}$	$r, \text{Ом}$	$x, \text{Ом}$	$z, \text{Ом}$	$T_a, \text{мс}$	K_V	$I_{КЗ}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{КЗ}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{КЗ}^{(1)}, \text{кА}$	$I_{уд}, \text{кА}$
1/2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЭНЕРГОСИСТЕМА /К1		10,5	0,000	0,551	0,551	-	1,800	11,002	9,528	-	28,006
БЛОК УЧЁТА/К2		10,5	3,735	12,393	12,943	$10,56$ 2	1,388	0,468	0,406	-	0,919
ШИНЫ ТРАНСФОРМАТОРА/К3		0,4	3,838	12,427	13,007	$10,30$ 6	1,379	12,234	10,595	11,500	23,859
ШИНЫ РУ НН/К4		0,4	4,011	12,496	13,124	9,918	1,365	12,125	10,500	11,214	23,403
ВРУ/К5	ВРУ 2	0,4	88,978	24,828	92,377	0,888	1,000	1,723	1,492	0,859	2,436
	ВРУ 3	0,4	303,869	25,939	304,974	0,272	1,000	0,522	0,452	0,256	0,738
	ВРУ 4	0,4	120,879	24,497	123,337	0,645	1,000	1,290	1,117	0,636	1,825
	ВРУ 5	0,4	121,933	19,563	123,492	0,511	1,000	1,289	1,116	0,588	1,822
	ВРУ 6	0,4	382,869	28,708	383,943	0,239	1,000	0,414	0,359	0,204	0,586
	ВРУ 7	0,4	313,289	26,270	314,389	0,267	1,000	0,506	0,438	0,249	0,716
	ВРУ 8	0,4	187,792	21,872	189,062	0,371	1,000	0,842	0,729	0,403	1,190
	ВРУ 9	0,4	67,281	19,285	69,991	0,912	1,000	2,274	1,969	1,094	3,215
	ВРУ 10	0,4	278,278	25,042	279,403	0,286	1,000	0,570	0,493	0,279	0,805
	ВРУ 11	0,4	111,825	25,163	114,621	0,716	1,000	1,388	1,202	0,692	1,963
	ВРУ 12	0,4	212,576	22,739	213,789	0,340	1,000	0,744	0,645	0,359	1,053
	ВРУ 13	0,4	249,014	24,016	250,169	0,307	1,000	0,636	0,551	0,310	0,900
	ВРУ 14	0,4	105,801	27,145	109,227	0,817	1,000	1,457	1,262	0,726	2,060

Продолжение таблицы Б.1

1/2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	ВРУ 15	0,4	358,316	27,847	359,396	0,247	1,000	0,443	0,383	0,218	0,626
	ВРУ 16	0,4	269,947	24,750	271,079	0,292	1,000	0,587	0,508	0,287	0,830
	ВРУ 17	0,4	869,093	39,142	869,974	0,143	1,000	0,183	0,158	-	0,259
К5-ВРУ1/6		0,4	14,264	17,067	22,243	3,809	1,072	7,154	6,196	4,490	10,850
1	РП1/8	0,4	21,307	18,689	28,342	2,792	1,028	5,615	4,862	3,365	8,161
A	Н1.1-1.2	0,23	488,208	65,769	492,618	0,429	1,000	0,562	0,487	0,449	0,794
B	Н1.3-1.4	0,23	488,208	65,769	492,618	0,429	1,000	0,562	0,487	0,449	0,794
C	Н1.5-1.6	0,23	488,208	65,769	492,618	0,429	1,000	0,562	0,487	0,449	0,794
A	Н1.7-1.8	0,23	488,208	65,769	492,618	0,429	1,000	0,562	0,487	0,449	0,794
2	ГРЦ О1/12	0,4	148,900	23,951	150,814	0,512	1,000	1,055	0,914	0,530	1,492
A	О1.1	0,23	786,058	51,524	787,745	0,209	1,000	0,351	0,304	0,222	0,497
B	О1.2	0,23	691,851	44,219	693,263	0,203	1,000	0,399	0,346	0,243	0,565
C	О1.3	0,23	739,874	45,209	741,254	0,194	1,000	0,373	0,323	0,231	0,528
A	О1.4	0,23	901,618	54,900	903,288	0,194	1,000	0,306	0,265	0,200	0,433
B	О1.5	0,23	999,301	50,555	1000,579	0,161	1,000	0,277	0,240	0,185	0,391
C	О1.6	0,23	883,003	54,356	884,674	0,196	1,000	0,313	0,271	0,203	0,442
A	О1.7	0,23	792,494	51,711	794,179	0,208	1,000	0,348	0,302	0,220	0,493
B	О1.8	0,23	730,824	51,739	732,654	0,225	1,000	0,378	0,327	0,233	0,534
C	О1.9	0,23	760,381	50,774	762,075	0,213	1,000	0,363	0,314	0,227	0,514
A	О1.10	0,23	749,481	45,407	750,856	0,193	1,000	0,369	0,319	0,229	0,521
B	О1.11	0,23	871,503	56,303	873,319	0,206	1,000	0,317	0,274	0,205	0,448
C	О1.12	0,23	791,785	53,716	793,605	0,216	1,000	0,349	0,302	0,220	0,493
3	РЦ СПЕЦ-О/6	0,4	309,375	26,125	310,476	0,269	1,000	0,513	0,444	0,256	0,725
A	ОА.1	0,23	1537,130	70,954	1538,767	0,147	1,000	0,180	0,156	0,111	0,254
B	ОА.2	0,23	1466,520	68,891	1468,138	0,150	1,000	0,188	0,163	0,115	0,267

Продолжение таблицы Б.1

1/2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
С	ОА.3	0,23	1357,396	65,702	1358,985	0,154	1,000	0,204	0,176	0,121	0,288
А	ОТ.1	0,23	1044,732	62,683	1046,611	0,191	1,000	0,264	0,229	0,144	0,374
В	ОТ.2	0,23	1002,778	61,101	1004,638	0,194	1,000	0,275	0,239	0,148	0,390
С	ОТ.3	0,23	1078,870	59,998	1080,537	0,177	1,000	0,256	0,222	0,141	0,362
4	РПО - СПЕЦ./17	0,4	16,097	17,697	23,923	3,499	1,057	6,652	5,761	4,118	9,947
3Ф	С1.1	0,4	69,063	27,117	74,196	1,250	1,000	2,145	1,857	-	3,034
3Ф	С1.2	0,4	389,376	28,391	390,410	0,232	1,000	0,408	0,353	-	0,576
А	С1.3	0,23	1991,973	57,779	1992,811	0,092	1,000	0,139	0,120	0,118	0,196
3Ф	С1.4	0,4	126,995	27,030	129,840	0,678	1,000	1,226	1,061	-	1,733
	С1.5	0,4	628,524	30,310	629,254	0,154	1,000	0,253	0,219	-	0,358
	С1.6	0,4	623,409	30,230	624,142	0,154	1,000	0,255	0,221	-	0,361
	С1.7	0,4	536,605	28,871	537,382	0,171	1,000	0,296	0,256	-	0,419
А	С1.8	0,23	462,966	33,845	464,202	0,233	1,000	0,596	0,516	0,483	0,843
С	С1.9	0,23	308,641	31,427	310,237	0,324	1,000	0,892	0,773	0,700	1,262
А	С1.10	0,23	3134,780	75,669	3135,693	0,077	1,000	0,088	0,076	0,076	0,125
С	С1.11	0,23	1404,493	55,388	1405,585	0,126	1,000	0,197	0,171	0,167	0,278
В	С1.12	0,23	462,966	33,845	464,202	0,233	1,000	0,596	0,516	0,482	0,843
	С1.13	0,23	625,494	50,810	627,555	0,259	1,000	0,441	0,382	0,364	0,624
	С1.14	0,23	430,675	52,483	433,861	0,388	1,000	0,638	0,552	0,516	0,902
	С1.15	0,23	394,782	50,201	397,961	0,405	1,000	0,695	0,602	0,559	0,983
С	С1.16	0,23	2239,058	47,193	2239,556	0,067	1,000	0,124	0,107	0,105	0,175
3Ф	С1.17	0,4	623,407	30,230	624,139	0,154	1,000	0,255	0,221	-	0,361
5	РП2/8	0,4	26,316	19,116	32,526	2,312	1,013	4,892	4,237	2,779	7,010
А	Н2.1-2.2	0,23	515,726	68,072	520,199	0,420	1,000	0,532	0,461	0,422	0,752
В	Н2.3-2.4	0,23	515,726	68,072	520,199	0,420	1,000	0,532	0,461	0,422	0,752

Продолжение таблицы Б.1

1/2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
С	Н2.5-2.6	0,23	515,726	68,072	520,199	0,420	1,000	0,532	0,461	0,422	0,752
С	Н2.7-2.8	0,23	515,726	68,072	520,199	0,420	1,000	0,532	0,461	0,422	0,752
6	ГРЦ О2/12	0,4	155,269	24,137	157,134	0,495	1,000	1,013	0,877	0,508	1,432
А	О2.1	0,23	811,683	52,273	813,365	0,205	1,000	0,340	0,295	0,214	0,481
В	О2.2	0,23	727,026	44,999	728,418	0,197	1,000	0,380	0,329	0,231	0,537
С	О2.3	0,23	775,065	45,989	776,429	0,189	1,000	0,356	0,309	0,221	0,504
А	О2.4	0,23	927,260	55,649	928,929	0,191	1,000	0,298	0,258	0,194	0,421
В	О2.5	0,23	1034,509	51,335	1035,782	0,158	1,000	0,267	0,231	0,178	0,378
С	О2.6	0,23	908,003	55,086	909,673	0,193	1,000	0,304	0,263	0,197	0,430
А	О2.7	0,23	818,102	52,460	819,783	0,204	1,000	0,338	0,292	0,213	0,477
В	О2.8	0,23	751,244	52,381	753,068	0,222	1,000	0,367	0,318	0,226	0,520
С	О2.9	0,23	786,007	51,522	787,694	0,209	1,000	0,351	0,304	0,219	0,497
А	О2.10	0,23	784,673	46,187	786,031	0,187	1,000	0,352	0,305	0,219	0,498
В	О2.11	0,23	891,939	56,945	893,755	0,203	1,000	0,310	0,268	0,200	0,438
С	О2.12	0,23	812,204	54,359	814,021	0,213	1,000	0,340	0,294	0,214	0,481