

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 корпуса по производству метанола ОАО «Тольяттиазот»»

Обучающийся

Д.В. Хвостенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Консультант

к.п.н., доцент, Т.С. Якушева

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена расчету электроснабжения корпуса по производству метанола химического завода ПАО «Тольяттиазот», находящегося по адресу г. Тольятти, Поволжское шоссе, 32.

Из-за высокого спроса на продукцию ПАО «Тольяттиазот» появилась необходимость в создании дополнительного цеха по производству метанола. Для его создания необходимо произвести расчет главной понизительной подстанции на основании ожидаемых электрических нагрузок производства. Таким образом, расчет электроснабжения корпуса по производству метанола, а также выбор силового оборудования, являются актуальными.

Целью данной работы является разработка современной главной понизительной подстанции для нового цеха по производству метанола на химическом заводе ПАО «Тольяттиазот». В задачи выпускной квалификационной работы входят расчет и выбор количества и мощности силовых трансформаторов, обоснование и выбор схемы электроснабжения, определение мощности основного электрооборудования схемы электроснабжения.

Настоящая работа выполнена на 43 страницах, содержит 3 рисунка, 21 формулу, 8 таблиц и 30 использованных источников.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Electric power supply for the methanol production shop at PJSC «Togliattiazot».

The senior thesis consists of an introduction, 7 parts, a conclusion, 8 tables, the list of 30 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the senior thesis is the provision of electricity to the methanol production building at the chemical plant. We touch upon the problem of providing electricity to new buildings for expanding chemical production.

The aim of the work is to develop a modern main step-down substation to provide electricity for the entire production, including a new methanol production building.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: analysis of the characteristics of the design object; determination of the expected electrical loads of production; calculation of the power transformer capacity; selection of the power supply scheme of production; selection of electrical equipment.

Finally, we present the work of the specific proposal for the location and composition of power equipment on the territory of PJSC «Togliattiazot», as it is necessary for the full functioning of the entire production.

In conclusion we'd like to stress that in this work we used actual methods, approaches and calculations, allowing to make a choice of power equipment for consumers of the first category.

## Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта проектирования	7
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок производства	9
2.1 Расчет электрических нагрузок	9
2.2 Расчет освещения на производстве	14
3 Расчет трансформатора КТП с учетом компенсации реактивной мощности	19
4 Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом компенсации реактивной мощности	21
5 Расчет мощности силового трансформатора главной понизительной подстанции	27
6 Выбор схемы электроснабжения производства	29
7 Выбор электрического оборудования	34
7.1 Выбор выключателя на стороне 6 кВ	34
7.2 Выбор трансформаторов тока на стороне 110 кВ	35
7.3 Выбор трансформаторов тока на стороне 6 кВ	36
7.4 Выбор трансформаторов напряжения на стороне 6 кВ	38
7.5 Выбор трансформатора собственных нужд подстанции	39
7.6 Выбор комплектного распределительного устройства 6 кВ	40
Заключение	41
Список использованных источников	42

## Введение

На предприятиях, ориентированных на химическую промышленность в системах электроснабжения (СЭС), нужно обеспечить необходимую степень надежности элементов электроснабжения, качество электроэнергии на зажимах электропотребителей. Надежность СЭС должна достигаться за счет внедрения прогрессивных схемо-конструктивных системных решений, проведением плановых и внеплановых ремонтов, а также резервированием ее элементов в особенности для потребителя I категории.

«Экономичность электроснабжения промышленных предприятий достигается путем разработки современных систем распределения электроэнергии, использованием рациональных конструкций, комплектных РУ и трансформаторных подстанций. Реализация этих требований обеспечивает снижение затрат при сооружении и эксплуатации всех элементов СЭС, выполненных с высокими технико-экономическими показателями, а также обеспечивает надежное и качественное электроснабжение промышленных предприятий.» [1, 23]

«Каждое промышленное предприятие находится в состоянии непрерывного развития: вводятся новые производственные площади, повышается использование существующего оборудования, или старое оборудование заменяется новым, более производительным и мощным, изменяется технология и т.д. Система электроснабжения промышленного предприятия (от ввода до конечных приемников электроэнергии) должна быть гибкой, допускать постоянное развитие технологии, рост мощности предприятий и изменение производственных условий.

Для современных предприятий, особенно химического производства, характерна динамичность технологического процесса, связанная с непрерывным введением новых методов обработки, нового оборудования и его и переналадки.» [17, 25]

«В качестве базового варианта при разработке дипломного проекта взят корпус по производству метанола на химическом предприятии ПАО «Тольяттиазот». В 2001 году была пущена первая очередь по производству метанола, а в 2006 году запущена вторая очередь. В настоящее время планируется строительство третьей очереди по производству метанола. В связи с этим представляется вполне оправданным выполнение расчетов по электроснабжению с учетом мощностей уже установленных электроприемников, а также с учетом применения новых технологий и нового оборудования.» [6, 21]

В рамках выпускной квалификационной работы поставлена цель разработать систему электроснабжения производства метанола химического предприятия с учетом планируемых и эксплуатируемых в установке электроприемников.

Задачи, которые были поставлены перед выпускной квалификационной работой:

- расчет электрических нагрузок производства метанола и освещения;
- выбор и обоснование схемы электроснабжения производства;
- расчет и выбор числа и мощности трансформаторов КТП и ГПП;
- расчет и выбор электрооборудования.

## 1 Характеристика объекта проектирования

Электродвигатели используются в производстве метанола на ПАО «Тольяттиазот». Они являются важнейшим элементом, в том числе, для безопасности. «Двигатели питаются от тока промышленной частоты. Характер нагрузки обычно равномерный, особенно для установок большой мощности. Перерыв в электроснабжении чаще всего недопустим и может привести к опасности для жизни людей, серьезному и разрушительному нарушению технологического процесса или повреждению оборудования. В этом случае установки следует отнести к потребителям первой категории надежности. Потребители этой группы создают нагрузку, которая является равномерной и симметричной в трех фазах.» [16]

Технологические установки агрегата по производству метанола производственного объединения ПАО «Тольяттиазот» являются потребителями первой категории. «В составе потребителей 1 категории имеется небольшая группа электроприемников особо ответственных, которые не допускают перерывов электроснабжения. Весь технологический процесс осуществляется при помощи компрессоров, вентиляторов и насосов. Двигатели компрессоров, вентиляторов и насосов работают примерно в одинаковом режиме (продолжительном). Мощность таких установок изменяется в широком диапазоне (от долей единиц до сотен киловатт).» [2, 15]

«При выборе внутреннего источника питания мы основываемся на конкретных условиях требуемой надежности эксплуатации, перспектив дальнейшего развития и расширения производства. Принимая во внимание вышеуказанные особенности, в целях обеспечения надежности электродвигатели питаются от кабелей, проложенных в каналах. При прокладке в каналах необходимая защита от механических повреждений обеспечивается перекрытием каналов огнеупорными плитами.» [30]

«При вводе в цех кабели защищаются путем присоединения оболочки и к заземлителем. Так как в проектируемом цехе имеются крупные нагрузки

(насосы) применяем радиальную схему, которая характеризуется тем, что от источника питания (то есть от распределительного щита трансформаторной подстанции) отходят линии, питающие групповые распределительные пункты, от которых, в свою очередь, отходят самостоятельные линии, питающие мелкие электроприемники.» [4, 7]

Высокую степень надежности питания способны обеспечить радиальные схемы. Повышенная надежность электроснабжения этой схемы осуществляется за счет того, что короткое замыкание на одной из отходящих линий не способно повлиять на работоспособность других электропотребителей. «Но у радиальной схемы так же есть и недостатки. Это, прежде всего, высокая стоимость, то есть, по сравнению с другими типами схем радиальная схема характеризуется повышенной стоимостью капитальных затрат.» [4] Также могут возникнуть трудности при монтаже, так как она громоздкая. Однако, следует заметить, что, несмотря на эти недочеты, радиальная схема используется на предприятиях химической промышленности.



## 2 Определение ожидаемых электрических нагрузок производств

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

«Исходными данными для расчета являются: спецификация технологического оборудования, режимы работы электроприемников, расчетные коэффициенты, номинальные мощности. Расчет электрических нагрузок произведен методом упорядоченных диаграмм. Для расчета потерь мощности и энергии в заводских сетях необходимо определение средних нагрузок средних нагрузок.

Групповая средняя активная мощность за наиболее загруженную смену определяется по формуле:

$$P_{см} = \sum_{i=1}^m P_{уcтi} \cdot n_i \cdot k_{ui} = k_{уср} \cdot \sum_{i=1}^m P_m, \quad (1)$$

где  $P_{уcтi}$  - установленная мощность  $n$ -го электроприемника;

$k_{ui}$  - коэффициент использования  $i$ -го электроприемника;

$k_{уср}$  - групповой коэффициент использования для группы однотипных электроприемников:

$$k_{уср} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{уcтi} \cdot n_i \cdot k_{ui}}{\sum_{i=1}^m P_{уcтi} \cdot n_i}. \quad (2)$$

Средняя реактивная мощность определяется выражением:

$$Q_{см} = \sum_{i=1}^m P_{уcтi} \cdot n_i \cdot k_{ui} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - определяется по расчетному значению коэффициента мощности  $i$ -го электроприемника.» [3]

«Вычисляем средневзвешенный коэффициент использования:

$$k_{ui} = \frac{P_{cM}}{P_{H\Sigma}} .$$

Эффективное число ЭП определяется по выражению:

$$n_э = \frac{2 \sum P_H}{P_{Hmax}} ;$$

если  $n_э > n$ , то следует принять  $n_э = n$ .

Определяем коэффициент максимума по расчетным кривым  $k_M = f(n_э, k_u)$ » [3, 9]. Производим расчет нагрузки:

$$P_p = k_M \cdot P_{cM} ;$$

если  $10 \geq n_э \geq 4$ , то  $Q_p = 1,1 \cdot Q_{cM}$  ;

если  $n_э > 10$ , то  $Q_p = Q_{cM}$  ;

при  $n_э > 200$ , расчетное значение активной и реактивной нагрузки будет определяться:

$$P_p = P_{cM} ; Q_p = Q_{cM} ;$$

Также, можно принять  $k_3 = 0,9$  – для ЭП, выполняющих работу длительное время;  $k_3 = 0,75$  – для ЭП, которые повторно или кратковременно включаются, тогда расчетная реактивная мощность нагрузки для ЭП,

выполняющих работу длительное время при  $\cos\varphi = 0,8$  определяется по следующей формуле:

$$Q_P = 0,75 \cdot P_H .$$

А для ЭП, которые повторно или кратковременно включаются при  $\cos\varphi = 0,8$   $Q_P = P_P$ .

Полную мощность для рассматриваемой нагрузки находим по формуле:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} . \quad (4)$$

Определяем ток в нагрузке по формуле:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}$$

Основные данные, а также рассчитанные по формулам (1) - (4) нагрузки цеха по производству метанола указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Ожидаемые электрические нагрузки производства метанола

Узлы питания, группы ЭП	Кол. ЭП $n$	Приведенные к ПВ=100% Установленная мощность		$k_u$	cosφ/ /tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		$n_э$	$k_M$	Расчетная нагрузка			Расчетные токи I, А
		Мощность одной наб. и наим. ЭП, кВт	Суммарная мощность, кВт			$P_{ср},$ кВт	$Q_{ср},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1Щ-2100	12	0,18/250	580,81	0,64	0,75/ 0,88	374,12	330,41	5	1,34	501,32	363,45	619,21	893,75
МСС-1	14	5,5/30	322	0,65	0,79/ 0,78	209,3	164	14	1,18	249,07	164	297,22	430,44
МСС-2	18	7,5/90	631	0,65	0,65/ 0,79	410,15	323,48	14	1,18	483,98	323,48	582,18	840,2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
МСС-3	17	7,5/90	604,5	0,65	0,78/ 0,8	392,93	314,8	14	1,18	463,65	314,8	560,42	808,9
МСС-4	16	11/45	516	0,65	0,8/ 0,75	335,4	251,55	16	1,15	385,71	251,55	460,49	664,6
МСС-5	15	1,5/45	290	0,65	0,77/ 0,83	188,5	155,95	13	1,9	224,32	155,95	283,2	394,3
Итого по цеху	99	0,18/250	3467,2	0,65	077/ 0,82	1514,25	1838,5	28	1,16	2608,1	1838,5	3190,9	4605
Электрическая нагрузка 6 кВ													
Итого	180	0,18/1400	10003	0,65	0,93/ 0,4	6496,7	2615,7	15	1,7	7601,17	2615,7	8038,6	773,52
Итого на шинках ГПП 6кВ	2550	0,18/2576	131203	0,65	0,8/ 0,74	85277	62893	102	1,06	90393,2	62892,2	110120	577,98

## 2.2 Расчет освещения на производстве

«Выбор мощности светильников производится в соответствии с нормами проектирования искусственного освещения. Расчет производится методом коэффициента использования светового потока.

При расчете осветительной нагрузки методом коэффициента использования световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности  $E_n$ , определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k_{зан} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}; \quad (5)$$

где  $k_{зан}$  - коэффициент запаса;

$S$  - площадь освещаемой поверхности  $m^2$ ;

$z = E_{cp} / E_n$  - коэффициент минимальной освещенности;

$E_{cp}$  - средняя освещенность;

$N$  - число светильников (как правило, намечаемое до расчета);

$\eta$  - коэффициент использования светового потока источника света.

По значению  $\Phi$  выбирается стандартная лампа так, чтобы световой поток отличался от расчетного значения  $\Phi$  на -10...+20 %. При невозможности выбора источника света с таким приближением корректируется число светильников.» [13, 22]

«Коэффициент светового потока  $\eta$  - это функция индекса помещения  $i$ , который определяем по выражению:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (6)$$

где  $A$  - длина помещения, в котором планируется установка светового прибора;

$B$  - ширина помещения, в котором планируется установка светового прибора;

$h$  - расчетная высота подвеса светильника в котором планируется установка светового прибора.» [5, 8]

«Размещение светильников в плане определяется следующими данными:

Высота светильников над полом определяем по формуле:

$$h_n = H - h_c, \quad (7)$$

где  $H$  - высота помещения, в котором располагаются светильники, м;

$h_c$  - расстояние светильников от текущего перекрытия, м.

По формуле рассчитывается высота подвеса светильников:

$$h = h_n - h_p, \quad (8)$$

где  $h_p$  - высота расчетной поверхности над полом; (0,5 — 1 м);

$L$  - расстояние между соседствующими светильниками или рядами. Если расстояние по ширине и длине помещения различны, то они обозначаются  $L_A$  и  $L_B$  м.

$l$  - расстояние от крайних светильников до стены; м. Принимается в пределах 0,3 - 0,5  $L$ , в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест.

При расчете люминесцентного освещения первоначально указывается число рядов  $n$ , которое подставляется вместо коэффициента  $N$ . Тогда под  $\Phi$  следует подразумевать поток ламп одного ряда.

Число светильников в ряду  $N$  определяется, как:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_1}, \quad (9)$$

где  $\Phi_1$  - поток ламп в каждом светильнике.» [17]

Пример расчета выполнен для цеха компрессорного отделения, который является особо ответственным объектом.

*Компрессорное отделение № 1 на территории ПАО «Тольяттиазот»*

Расчет высоты подвеса светильников над полом:

$$h_n = 4,8 - 0,3 = 4,5 \text{ м.}$$

Расчетная высота подвеса светового прибора:

$$h = 4,5 - 1 = 3,5 \text{ м.}$$

Минимальная освещенность, согласно стандартам, должна составлять  $E_{\text{мин}} = 75$  лк,  $k = 1,5$  и быть найденной по справочному материалу и расположить как показано на рисунке 1.

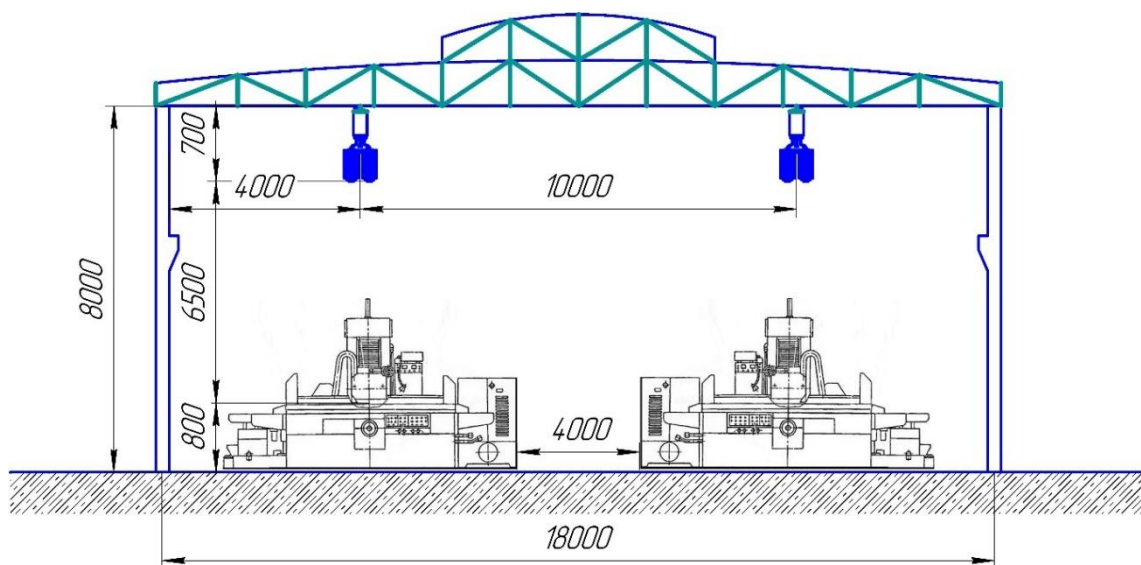


Рисунок 1 – Схема расположения светильников по высоте



Производим расчет индекса помещения по формуле (6):

$$i = \frac{45 \cdot 17}{3,5 \cdot (45 + 17)} = 3,5$$

Также, исходя из справочного материала, определяем коэффициент отражения поверхностей помещения:

- потолка  $p_n = 30\%$ ;
- стен  $p_c = 10\%$ ;
- пола  $p_p = 10\%$ .

«По таблице 5-6 [19] находим коэффициент использования  $\eta = 0,48\%$ , определяем световой поток ламп:

$$\Phi = \frac{75 \cdot 1,5 \cdot 765 \cdot 1,15}{21 \cdot 0,48} = 9818 \text{ лм} .$$

Выбираем к использованию светильники повышенной надежности против взрыва типа Н4Б. Выбираем лампу типа ДРИ мощностью 250 Вт со световым потоком  $\Phi = 11000$  лм. Поток отличается от расчетного на +12 %.»  
[19]

Между рядами светильников определяем расстояние по формуле:

$$L = 1,1 \cdot h; L = 1,1 \cdot 3,5 = 3,85 \text{ м} .$$

Расстояние от светильников до стены определяется по выражению:

$$l = 0,3 \div 0,5 \cdot L; l = 0,5 \cdot 3,85 = 1,925 \text{ м} .$$

Получено число светильников в длину  $L_A = 7$  и соответственно в ширину  $L_B = 3$ .

По формуле определяем активную мощность освещения:

$$P_{OCB} = k_u \cdot N \cdot P_{CB}; P_{OCB} = 0,48 \cdot 21 \cdot 250 = 2520 \text{ Вт}$$

А также реактивную мощность освещения:

$$Q_{OCB} = P_{OCB} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi = 0,32$ ;  $Q_{OCB} = 2520 \cdot 0,32 = 806,4 \text{ вар}$ .

Результаты расчета осветительной нагрузки производства метанола приведены в таблице 1.

Вывод.

Расчет производится по стандартным формулам, позволяющим определить наиболее подходящие источники света для рассматриваемого помещения. Однако, ввиду взрывоопасности, были выбраны светильники, соответствующие этим особенностям. Выбираем к использованию светильники против взрыва типа Н4Б, который обладает необходимой степенью повышенной надежности. Выбираем лампу типа ДРИ мощностью 250 Вт со световым потоком  $\Phi = 11000 \text{ лм}$ .

### 3 Выбор места расположения главной понизительной подстанции и цеховых трансформаторных подстанций

Размещение на территории главной понизительной подстанции и цеховых подстанций следует предусмотреть при проектировке системы электроснабжения предприятия. «Для выбора места их размещения на основном плане предприятия наносится картограмма нагрузок, представляющая собой окружности, площади которых  $\pi \cdot R_i$  в выбранном масштабе  $m$  равны расчетной нагрузке  $R_i$  соответствующих цехов (рисунок 2).» [14]

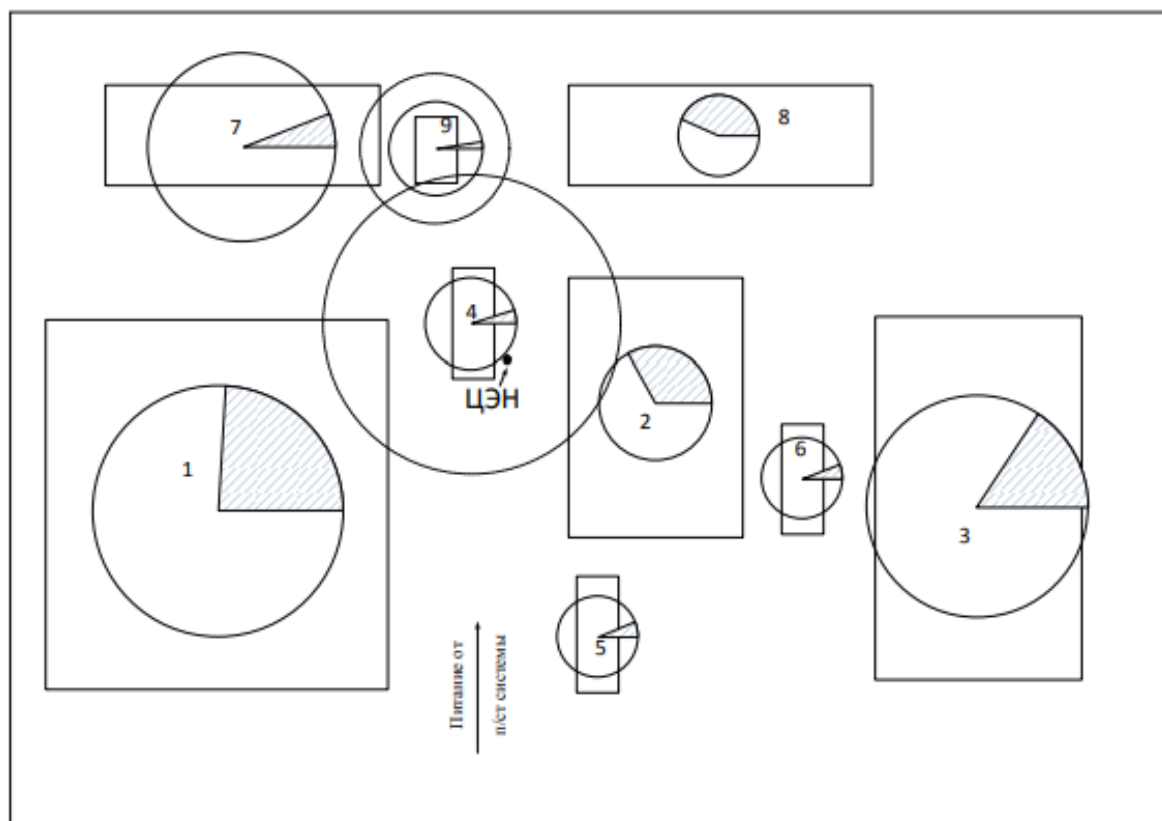


Рисунок 2 – Картограмма электрических нагрузок электроснабжения

«Местоположение главной понизительной подстанции (заводской ГПП) и трансформаторных подстанций (цеховых ТП) должно быть в непосредственной близости от центра их нагрузок, что сокращает

протяженность, а следовательно, стоимость и потери в питающих и распределительных сетях электроснабжения предприятия.» [28, 29]

«Производство метанола ПАО «Тольяттиазот» является взрыво- и пожароопасными зонами, поэтому решения по местоположению подстанций являются вынужденными и предусматриваются в ПУЭ:

- РУ до 1 кВ и выше, ТП и ПП с электрооборудованием общего назначения запрещается сооружать непосредственно во взрывоопасных зонах любого класса. Они должны располагаться в отдельных помещениях;
- РУ, ТП и ПП запрещается размещать непосредственно над и под помещениями со взрывоопасными зонами любого класса;
- стены РУ, ТП и ПП, к которым примыкают взрывоопасные зоны, должны быть выполнены из негорючего материала и иметь предел огнестойкости не менее 0,75ч., быть пыле-газо-непроницаемыми, не иметь дверей и окон;
- в пожароопасных зонах любого класса, за исключением пожароопасных зон в складских помещениях, а также помещений архивов, музеев и тд. могут размещаться встроенные или пристроенные КТП с маслонаполненными трансформаторами и подстанции с маслонаполненными трансформаторами в закрытых камерах.» [4]

#### 4 Расчет трансформатора КТП с учетом компенсации реактивной мощности

«При выборе компенсирующих устройств, устанавливаемых в распределительных сетях, исходными являются данные: расчетные активные  $P_p$  и реактивные  $Q_p$  нагрузки потребителей напряжением до 1000 В и 6 кВ; типовые суточные и годовые графики активных и реактивных нагрузок; схема электроснабжения на напряжение 6 кВ рассматриваемого производства; заданные энергосистемой входные реактивные мощности  $Q_{э1}$  и  $Q_{э2}$ , которые будут переданы из сети электросистемы в сеть рассматриваемого предприятия в режимах наибольшей и наименьшей активных нагрузок.

Значения  $Q_{э1}$  и  $Q_{э2}$  определяются как:

$$Q'_{э1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{СД}; \quad (10)$$

$$Q''_{э1} = a \cdot P_p, \quad (11)$$

где  $Q_{СД}$  – реактивная мощность синхронных двигателей;  
 $a$  – расчетный коэффициент, соответствующий установленным предприятием условием получения от электросистемы мощности (берется равным 0,28).» [29]

При использовании формул (10) и (11), получаем значение  $Q_{э1}$ :

$$Q'_{э1} = 4141,1 - 0,7 \cdot 1433 = 3138 \text{ квар};$$

$$Q''_{э1} = 0,28 \cdot 7805,17 \text{ квар}.$$

«Для потребителей с присоединенной мощностью трансформаторов 750 кВА и выше, значение  $Q_{\text{э}1}$  определяется меньшим из значений, полученных по формулам.» [9, 20] Соответственно принимаем:

$$Q'_{\text{э}1} = Q_{\text{э}1} = 2185,45 \text{ квар} .$$

«Значение  $Q_{\text{э}2}$  может находиться в любом в диапазоне, верхняя и нижняя границы которого определяются по выражениям:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} + Q_k ; \quad (12)$$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э}1}) , \quad (13)$$

где  $Q_{\text{min}}$  - мощность реактивной нагрузки предприятия в период минимальной нагрузки электросистемы ( $Q_{\text{min}} = 3602,76$  квар), определяется из графика суточной нагрузки;  
 $Q_k$  - мощность, генерируемая компенсирующим устройством предприятия в период минимальной активной нагрузки энергосистемы.» [3, 18]

При использовании формул (12) и (13), получаем значение  $Q_{\text{э}2}$ :

$$Q'_{\text{э}2} = 3602,76 + 0 = 3602,76 \text{ квар} ;$$

$$Q''_{\text{э}2} = 3602,76 - (2186,45) = 1647,11 \text{ квар} .$$

«Конкретное значение  $Q_{\text{э}2}$  из указанного диапазона следует устанавливать, исходя из режима повышенного напряжения в данном узле в период минимума нагрузки:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{э}2} = 3602,76 \text{ квар} .$$

Необходимая суммарная мощность компенсирующих устройств для режима наибольших реактивных нагрузок в период наибольшей активной нагрузки энергосистемы в сети промышленного предприятия определяется:

$$Q_{KV \max} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 1,1 \cdot 4141,1 - 2185,45 = 2369,76 \text{ квар} ;$$

Мощность нерегулируемых КУ определяется:

$$Q_{KV \min} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2} = 3602,76 - 3602,76 = 0 \text{ квар} ;$$

$$Q_{КУрез} = Q_{KV \max} - Q_{KV \min} = 2369,76 \text{ квар} .$$

Из этого следует, что все КУ должны быть регулируемы.

Мощность трансформатора выбирается с таким расчетом, чтобы загрузка его соответствовала наиболее экономичному режиму, поэтому рассмотрим следующие варианты. Число и мощность цеховых трансформаторов выбирается по расчетной нагрузке (рисунок 3) с учетом категории надежности, окружающей среды и характера электрических нагрузок.» [1]

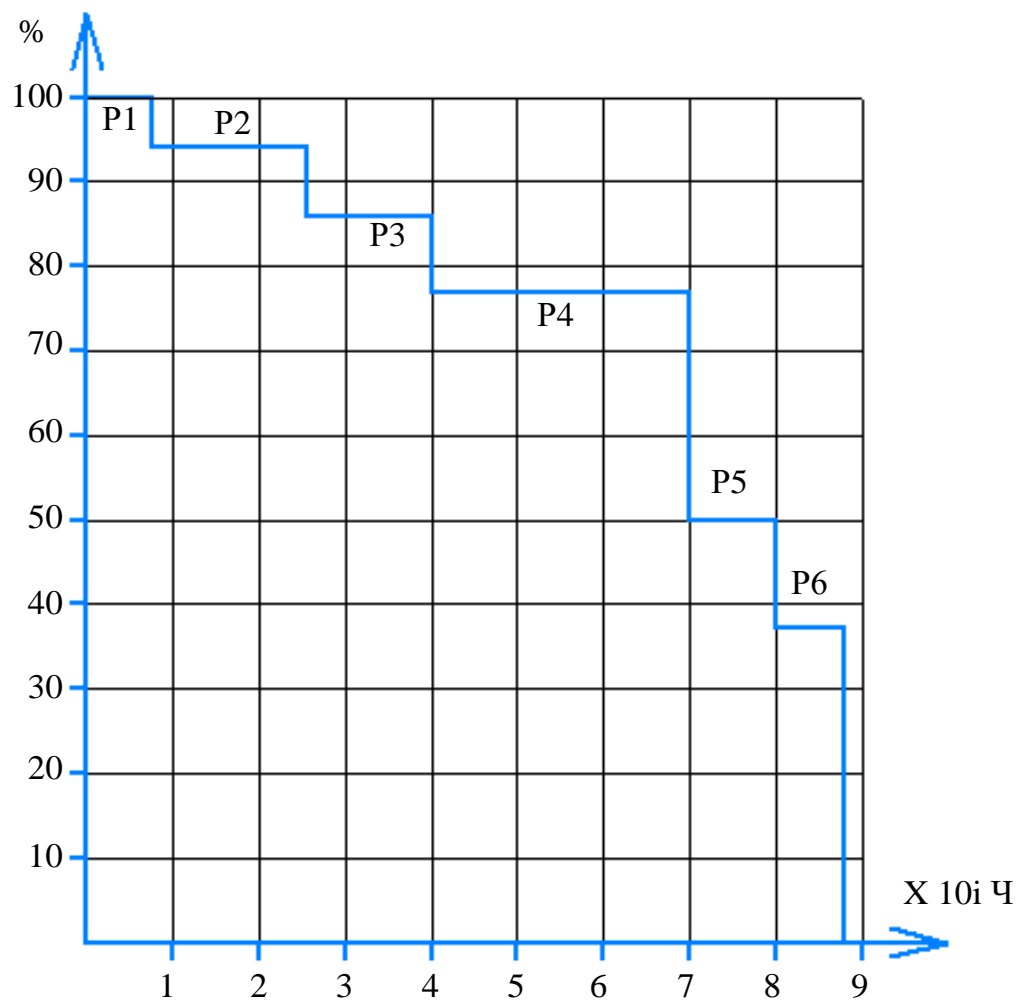


Рисунок 3 – Годовой график нагрузки по продолжительности электропотребления активной мощности

«Определяем минимально возможное число трансформаторов при  $S_n = 2500$  кВА и коэффициенте загрузки трансформатора  $k_3 = 0,7$ :

$$N_m = \frac{P_{P\Sigma}}{k_3 \cdot S_n}; \quad (14)$$



Расчет получаем:

$$N_m = \frac{2608,1}{0,7 \cdot 2500} = 1,49 \approx 2 \text{ шт.}$$

К установке принимаем 2 трансформатора.

Определяем реактивную мощность, которая должна быть распределена из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1000 В и не должна компенсироваться:

$$Q_{эмг} = Q_{э1} - Q_B = 2185,45 - (4141,1 - 1838) = 27,75 \text{ квар ,}$$

где  $Q_B$  - реактивная нагрузка потребителей в сети 6 кВ.

Находим реактивную мощность, которая может быть передана из сети напряжением до 1000 В по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_m \cdot \beta \cdot S_n)^2 - P_{p\Sigma}^2} , \quad (15)$$

где  $P_{p\Sigma}$  - расчетная активная нагрузка электроприемника напряжением до 1000 В.

Расчет получаем:

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 2500)^2 - 2608,1^2} = 2334,06 \text{ квар .}$$

Определяем мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1000 В:

$$Q_{\text{кун}} = Q_{p\Sigma} - Q_1 = 1838,48 - 2334,06 = -495,58 \text{ квар},$$

где  $Q_{p\Sigma}$  - расчетная реактивная нагрузка электроприемника напряжением до 1000 В.» [4, 18, 27]

Мощность компенсирующего устройства, которое будет установлено на стороне 6 кВ рассчитываем по формуле:

$$Q_{\text{кув}} = Q_{KV \text{ max}} - Q_{\text{кун}} = 2369,76 - 0 = 2369,76 \text{ квар}.$$

Соответственно получаем, что  $Q_{\text{кув}} > 800$  квар, и становится целесообразно установить на стороне 6 кВ одно компенсирующее устройство типа УКЛ-6.3-2250, мощность которого составляет 2250 квар, общей установленной мощностью  $Q_{BK} = 2250$  квар.

## 5 Расчет мощности силового трансформатора главной понизительной подстанции

Выбор мощности силовых трехфазных трансформаторов ГПП является крайне важным и ответственным пунктом и, соответственно, проводится на основании расчетной нагрузки предприятия в нормальном режиме работы, которая составляет  $P_{РГПП} = 90393,2$  кВт .

«Полную расчетную нагрузку предприятия, необходимую для выбора силовых трансформаторов ГПП, производим по классической формуле расчета полной мощности:

$$S_{РПi} = \sqrt{P_{РП}^2 + Q_{ЭCi}^2}, \quad (16)$$

где  $Q_{ЭCi}$  - экономически целесообразная реактивная мощность на стороне высшего напряжения ГПП, потребляемая предприятием из энергосистемы.» [24]

Определим экономически целесообразную реактивную мощность на стороне высшего напряжения из соотношения:

$$Q_{ЭCi} = P_{РП} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i. \quad (17)$$

В результате использования формулы (17) получим:

$$Q_{ЭCi} = 90393,2 \cdot 0,28 = 25310,1 \text{ квар} .$$

В результате использования формулы (16) получим:

$$S_{РПi} = \sqrt{90393,2^2 + 25310,1^2} = 93869,76 \text{ кВА} .$$

Номинальную мощность силового трехфазного трансформатора, устанавливаемого на главной понизительной подстанции с учетом допустимой перегрузки, находим через выражение:

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{S_{МАХ.ПС} \cdot K_{1-2}}{K_{ПЕР} \cdot (n-1)},$$

где  $K_{1-2}$  - коэффициент участия в нагрузке потребителей 1-й и 2-й категории.

«Для  $S_{НОМ.Т}$  по шкале мощностей силовых трансформаторов из справочного материала выбирается не менее двух ближайших и больших по мощности трансформаторов из условия:

$$S_{НОМ.Т1} > S_{НОМ.Т2} > S_{НОМ.Т}$$
$$80 \text{ МВА} > 63 \text{ МВА} > 60,3 \text{ МВА}$$

Число трансформаторов, устанавливаемых на главной понизительной подстанции, принимаем равным двум.» [6, 22]

Для данных условий подходят силовые трехфазные трансформаторы двух типов:

- трехфазный силовой трансформатор ТРДЦНК-80000/110/6,
- трехфазный силовой трансформатор ТРДЦНК-63000/110/6.

Вывод.

Основываясь на стоимости каждого из трансформаторов, а также из условия понимания того, что на данном производстве планируется стабильное потребление электроэнергии, целесообразно установить 2 штуки мощностью 63 кВА. Установка трансформатора большей мощности приведет к электрическим потерям. На основании этих рассуждений выбираем силовой трехфазный трансформатор ТРДЦНК-63000/110/6.

## **6 Выбор схемы электроснабжения производства**

«Основные решения по схемам электроснабжения принимаются с учетом обеспечения надежности, перспектив развития, проведения ремонтных работ и безопасности эксплуатации. При разработке стремимся к максимальному упрощению схем и применению минимума коммутационной аппаратуры.

На предприятии имеется большое количество потребителей первой и второй категории, следовательно, питание должно происходить от двух независимых источников. В качестве таких источников в проекте предусматривается п/ст. «Азот — 500» и п/ст. «Васильевская». Ввод на подстанцию предусматривается кабельный.» [26]

«Электрическая схема ГПП выполняется по схеме двух блоков линия-трансформатор с кабельным вводом.

На подстанции предусматривается АВР секционных выключателей, которое действует при аварийном отключении одного из трансформаторов, и так же при исчезновении напряжения на питающей линии. АВР обеспечивает надежность и бесперебойность потребления электроэнергии.

Прокладка кабельных линий по территории предприятия должна удовлетворять условиям взрыво- и пожаробезопасности объекта. Прокладка кабелей внутри зданий цехов выполняется открыто (по стенам, потолкам) и в полу (в трубах).

В соответствии с ПУЭ цеховые трансформаторы подстанции выполняются встроенного типа. Применение таких подстанций позволяет уменьшить эксплуатационные расходы за счет сокращения протяженности цеховых электрических сетей низкого напряжения, расходы проводникового материала, и уменьшить, в связи с этим, потери электроэнергии.» [10, 11, 12]

В выпускной квалификационной работе была принята радиальная схема системы электроснабжения.

### Предварительный расчет питающей линии

Расчетный ток в прокладываемом кабеле 6 кВ при номинальном режиме определяется по формуле:

$$I_{P.K.} = \frac{S_{P.K.}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (18)$$

где  $S_{P.K.}$  - мощность, которая должна передаваться по кабельной линии в номинальном режиме.

По этой формуле находим токи в кабельной линии от ГПП до каждого потребителя:

$$I_{P.K. \text{ ГПП-РП}} = \frac{S_{P.K. \text{ РП}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4431,96}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 406,43 \text{ А};$$

$$I_{P.K. \text{ ГПП-ТП}} = \frac{S_{P.K. \text{ ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1595,95}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 146,26 \text{ А}.$$

По той же формуле определяем токи для напряжения 0,4 кВ:

$$I_{P.K. \text{ ТП-МСС}} = \frac{S_{P.K. \text{ МСС}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{309,6}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 446,87 \text{ А};$$

$$I_{P.K. \text{ МСС-Д}} = \frac{S_{P.K. \text{ Д}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{216,66}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 312,72 \text{ А}.$$

Зная ток, можно определить сечение кабельной линии по формуле:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{P.K.}}{J_{\text{э}}}, \quad (19)$$

где  $J_{\text{э}}$  – экономическая плотность тока, которая зависит от типа кабеля и времени  $T_m$  с использованием максимальной нагрузки.

По этой формуле определяем сечение кабелей:

$$F_{\text{э ГПП-РП}} = \frac{I_{\text{Р.К. ГПП-РП}}}{J_{\text{э}}} = \frac{406,43}{1,6} = 256,02 \text{ мм}^2,$$

выбираем сечение кабеля 240 мм<sup>2</sup>;

$$F_{\text{э ГПП-ТП}} = \frac{I_{\text{Р.К. ГПП-ТП}}}{J_{\text{э}}} = \frac{146,26}{1,6} = 91,41 \text{ мм}^2,$$

выбираем сечение кабеля 95 мм<sup>2</sup>;

$$F_{\text{э ТП-МСС}} = \frac{I_{\text{Р.К. ТП-МСС}}}{J_{\text{э}}} = \frac{446,87}{1,6} = 279,3 \text{ мм}^2,$$

выбираем сечение кабеля 240 мм<sup>2</sup>;

$$F_{\text{э МСС-Д}} = \frac{I_{\text{Р.К. МСС-Д}}}{J_{\text{э}}} = \frac{312,72}{1,6} = 195,45 \text{ мм}^2,$$

выбираем сечение кабеля 185 мм<sup>2</sup>.

«Допустимый ток прокладываемого кабеля, с учетом условий его прокладки, рассчитывается по представленному неравенству:

$$I_{\text{ДОП}}^* = K_{\text{П}} \cdot K_t \cdot I_{\text{ДОП}} > \frac{I_{\text{Р.К.}}}{n_{\text{к}}}, \quad (20)$$

где  $K_{\Pi} = 1$  – поправочный коэффициент на число параллельно проложенных кабелей;  
 $K_t = 1,2$  – поправочный коэффициент на температуру среды, в которой проложены параллельно расположенные кабели;  
 $n_k$  – число параллельных кабелей в используемой кабельной линии.» [14]

$$I_{\text{ДОП ГПП-РП}}^* = 1 \cdot 1,2 \cdot 465 = 558 > 406,43 \text{ А};$$

$$I_{\text{ДОП ГПП-ТП}}^* = 1 \cdot 1,2 \cdot 170 = 204 > 146,26 \text{ А};$$

$$I_{\text{ДОП ГПП-РП}}^* = 1 \cdot 1,2 \cdot 465 = 558 > 446,87 \text{ А};$$

$$I_{\text{ДОП ГПП-РП}}^* = 1 \cdot 1,2 \cdot 390 = 468 > 312,72 \text{ А}.$$

Также определяем потери в кабельной линии по формуле:

$$\Delta U = \frac{(P_P \cdot R_0 + Q_P \cdot X_0) \cdot L}{n_k U_H^2} \cdot 100\% , \quad (21)$$

где  $X_0$  и  $R_0$  – удельное индуктивное и активное сопротивление кабеля.

Потери должны быть менее 5%, то есть, выполнится условие  $\Delta U \leq \Delta U_{\text{ДОП}} = 5\%$ .

Используя эту формулу, определяем потери для каждого участка кабельной линии:

$$\Delta U = \frac{(3130,34 \cdot 0,129 + 2806,27 \cdot 0,071) \cdot 0,34}{1 \cdot 6,3^2} \cdot 100\% = 0,55\% ,$$



получаем  $\Delta U = 0,55\% \leq \Delta U_{\text{ДОП}} = 5\%$  , условие соответствует.

$$\Delta U = \frac{(1181,90 \cdot 0,326 + 826,38 \cdot 0,078) \cdot 0,27}{1 \cdot 6,3^2} \cdot 100\% = 0,31\% ,$$

получаем  $\Delta U = 0,31\% \leq \Delta U_{\text{ДОП}} = 5\%$  , условие соответствует.

$$\Delta U = \frac{(250,66 \cdot 0,129 + 181,72 \cdot 0,059) \cdot 0,012}{1 \cdot 0,4^2} \cdot 100\% = 0,32\% ,$$

получаем  $\Delta U = 0,32\% \leq \Delta U_{\text{ДОП}} = 5\%$  , условие соответствует.

$$\Delta U = \frac{(162,5 \cdot 0,129 + 143,3 \cdot 0,0596) \cdot 0,047}{1 \cdot 0,4^2} \cdot 100\% = 0,867\% ,$$

получаем  $\Delta U = 0,867\% \leq \Delta U_{\text{ДОП}} = 5\%$  , условие соответствует.

Вывод.

Для эксплуатации были выбран кабель АСБл сечения 240, 185 и 95 мм<sup>2</sup> на различные участки. Данный кабель обладает высокой степенью защиты, и экономическая целесообразность его использования обусловлена необходимостью высокой степени защищенности каждого элемента системы электроснабжения.

## 7 Выбор электрического оборудования

### 7.1 Выбор выключателя на стороне 6 кВ

Производим выбор силового выключателя, зная основные электрические величины, указанные в таблице 1 и из условий работы.

Таблица 2 - Выбор выключателя на стороне 6 кВ

Величины	Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
Номинальному напряжению $U_{ном}$ , кВ	6	10	$U_{уст} \leq U_{ном}$
Номинальному току $I_{ном}$ , А	1421	1600	$I_{max} \leq I_{ном}$
Отключающей способностью: а) на симметричные токи отключения, кА	16,049	45	$I_{пт} \leq I_{ном}$
б) на отключение апериодической составляющей тока к.з., $i_{ат}$ , кА	5,597	12,728	$i_{ат} \leq \beta_{ном} I_{ном}$
На электродинамическую стойкость (предельному сквозному току)	43,58	120	$i_{уд} \leq I_{пр.с}$

Основываясь на этих характеристиках по каталогу, находим подходящий выключатель. В наибольшей степени подходит выключатель марки ВБУЭЗ-10-20/1600, который будет установлен в ячейку КРУ типа К-66.

## 7.2 Выбор трансформаторов тока на стороне 110 кВ

Выбор трансформатора тока является также очень ответственным этапом. Так как от его работы будет зависеть эффективность релейной защиты. В таблице ниже приведены номинальные и каталожные данные трансформаторов тока, которые будут использованы на стороне 110 кВ.

Таблица 3 - Выбор трансформаторов тока на стороне 110 кВ

Величины	Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
Номинальному напряжению $U_{ном}$ , кВ	110	110	$U_{уст} \leq U_{ном}$
Номинальному току $I_{ном}$ , А	577,98	600	$I_{max} \leq I_{ном}$
На электродинамическую стойкость (предельному сквозному току)	15,589	63,6	$i_{уд} \leq I_{пр.с}$
На термическую стойкость	9,37	324	$i_{уд} \leq I_{пр.с}$

По вторичной нагрузке производим определение по неравенству:

$$z_2 \leq z_{2ном}; \quad z_{2ном} = 2 \text{ Ом},$$

где  $z_{2ном}$  - номинальное полное сопротивление нагрузки трансформатора тока в выбранном классе точности, которое может быть принято равным  $z_2 \approx R_2$ ;

$$R_2 = R_{ПРИБ} + R_{ПР} + R_K,$$

где  $R_K = 0,1$  Ом - переходное сопротивление контактов;

$R_{ПР}$  - сопротивление проводов;

$R_{ПРИБ}$  — сопротивление приборов.

Определяем сопротивление проводов:

$$R_{\text{ПР}} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,288 \cdot \frac{100}{4} = 0,72 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_{\text{ПРИБ}} + R_{\text{ПР}} + R_K = 0,1 + 0,72 = 0,82 \text{ Ом}.$$

Сопротивлением проводов пренебрегаем, считая их приближенным к идеальным. И получаем:

$$R_2 \approx z_2 = 0,82 \text{ Ом} < z_{2\text{ном}} = 2 \text{ Ом}.$$

Основываясь на полученных данных по каталогу, производим выбор трансформатора тока типа ТВТ-110 в необходимом количестве 6 штук.

### **7.3 Выбор трансформаторов тока на стороне 6 кВ**

Выбор трансформатора тока является так же очень ответственным этапом, так как от его работы будет зависеть эффективность релейной защиты. На напряжение 6 кВ трансформатор тока выбираем аналогично, по тем же параметрам и условиям описанные в разделах выше. Необходимое количество приборов на стороне 6 кВ которые могут использоваться приведено в таблице ниже.

Таблица 4 – Перечень приборов

Прибор	Тип	Класс точности	Номинальная мощность
Амперметр	Э-378	1,5	0,1
Счетчик активной/реактивной энергии	Меркурий 230ART	2/1,5	2,5
Ваттметр	Д-305	1,5	0,5

Таблица 5 – Перечень приборов

Величины	Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
Номинальному напряжению $U_{ном}$ , кВ	6	20	$U_{уст} \leq U_{ном}$
Номинальному току $I_{ном}$ , А	4211	8000	$I_{max} \leq I_{ном}$
На термическую стойкость	64,393	78400	$i_{уд} \leq I_{пр.с}$

По вторичной нагрузке производим определение по неравенству:

$$z_2 \leq z_{2ном}; \quad z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом} .$$

Определяем  $z_2$ :

$$R_2 \approx z_2 = 0,1 + 0,72 + 0,22 = 1,044 \text{ Ом} .$$

Следовательно:

$$z_2 = 1,044 \text{ Ом} < z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом} .$$

Основываясь на полученных данных по каталогу, производим выбор трансформатора тока на сторону 110 кВ типа ТПШЛК-10-1 в необходимом количестве 6 штук.

#### 7.4 Выбор трансформаторов напряжения на стороне 6 кВ

Выбор трансформатора напряжения является очень важной задачей, так как от его работы будет зависеть эффективность релейной защиты. Трансформаторы напряжения должны выбираться, исходя из следующих условий:

- вторичной нагрузки  $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$ ;
- конструкции и схемы соединения обмоток, класса точности;
- напряжения уставки  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ; 6 кВ  $\leq$  10 кВ.

Необходимое количество приборов, которые будут использованы на вторичной стороне трансформатора напряжения приведены в таблице 6:

Таблица 6 – Перечень измерительных приборов

Прибор	Тип	Класс точности	Потребляемая мощность, ВА
Вольтметр	Э-378	1,5	2
Счетчик активной/реактивной энергии	Меркурий 230ART	2/1,5	8
Ваттметр	Д-305	1,5	2

Определяем суммарную потребляемую мощность, суммировав ее:

$$S_{2\Sigma} = 2 + 8 + 8 + 2 = 20 \text{ ВА.}$$

Проверяем соотношение для выбираемого трансформатора напряжения:  
 $20\text{ВА} < 50 \text{ ВА}$ , соответственно, условие выполняется. Следовательно,  
 выбираем трансформатор напряжения типа НТМИ-10.

### 7.5 Выбор трансформатора собственных нужд подстанции

Для выбора трансформатора собственных нужд подстанции необходимо  
 знать электропотребление каждой электроустановки. Это является  
 справочными данными и, следовательно, их сводим в таблицу 6:

Таблица 7 – Потребители собственных нужд ГПП

Вид потребителей собственных нужд главной понижительной подстанции	Мощность на ед., кВт
Маслохозяйство	75,0
Устройство охлаждения для ТРДЦН-63000/110/6	29,6
Подогрев шкафов КРУ	26,0
Отопление освещение вентиляция ЗРУ 6 кВ	7,0
Подогрев релейного шкафа	1,0
Итоговое значение потребляемой активной мощности	138,6

С учетом коэффициента нагрузки  $K_z = 0,7$  получаем:  
 $138,6 \cdot 0,7 = 97,02 \text{ кВт}$ .

Исходя из полученных данных, наиболее оптимальным вариантом  
 станет использование 2 трансформаторов собственных нужд типа ТСН  
 мощностью 100 кВА.

## 7.6 Выбор комплектного распределительного устройства 6 кВ

Основываясь на ранее рассчитанных данных и каталожных данных, производим подбор КРУ в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень приборов на вторичной стороне трансформатора напряжения

Параметр	Условия выбора
Номинальному напряжению $U_{ном}$ , кВ	$U_{на} \geq U_{ну}$ ; $10 > 6$
Номинальному току шкафов КРУ, А	$I_{на} \geq I_{пу}$ ; $1600 > 1332$
Номинальному току отключения	$I_{но} \geq I_{но}$ ; $31 > 16,049$
Электродинамической стойкости	$i_{дин} \geq i_{уд}$ ; $51 > 43,578$
Термической стойкости	$\beta_{дин} \leq I_N^2 \cdot t_T$ ; $97,42 < 3844$ (кА <sup>2</sup> с)

Основываясь на полученных данных, наиболее оптимальным вариантом станет выбор КРУ типа К-66.

Вывод.

Выбор элементов электрооборудования на главной понизительной подстанции, является очень ответственным этапом, поскольку, в случае допущения ошибки при расчетах или подборе оборудования, могут возникнуть проблемы, ведущие к поломке или полному выходу из строя всей подстанции. В главе 7 подробно показаны расчеты основных элементов электрооборудования.



## Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнен расчет системы электроснабжения корпуса по производству метанола ПАО «Тольяттиазот».

После анализа объекта реконструкции и предварительного расчета основных ожидаемых электропотребителей был выполнен расчет освещения на производстве. Выбраны к использованию световые устройства повышенной надежности типа Н4Б. Для них выбрана лампа типа ДРИ, мощность которой составляет 250 Вт со световым потоком  $\Phi = 11000$  лм.

Произведены расчеты по выбору силового трансформатора для этой главной понизительной подстанции, ТРДЦНК-63000/110/6. Причиной такого выбора являются технико-экономические свойства объекта. Расчеты показали, что необходимое количество трехфазных силовых трансформаторов должно быть 2. Такое количество обусловлено тем, что объект является потребителем первой категории.

Также произведен расчет кабельной линии, которая будет использована на объекте. Для эксплуатации был выбран кабель АСБл сечения 240, 185 и 95 мм<sup>2</sup> на различные участки. Данный кабель обладает высокой степенью защиты, и экономическая целесообразность его использования обусловлена необходимостью высокой степени защищенности каждого элемента системы электроснабжения.

На главной понизительной подстанции, также, необходимо установить силовые выключатели на сторону 6 кВ. По результатам расчетов выбран силовой выключатель марки ВБУЭЗ-10-20/1600.

Для работы релейной защиты необходимым стал расчет трансформаторов тока и напряжения. Наиболее оптимальным вариантом станет использование двух трансформаторов собственных нужд типа ТСН мощностью 100 кВА.

## Список используемых источников

1. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книжка по освещению. - М.: Издательство МЭИ, 2004.
2. Алиев, И.И. Кабельные изделия: Справочник. - М.: ИП РадиоСОФТ, 2001.
3. Белецкий, О.В. Обслуживание электрических подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Вахнина В.В. и др. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий. - Тольятти: ТГУ, 2004.
5. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. - Тольятти: ТГУ, 2006.
6. Двоскин, Л.И. Схемы и конструкции распределительных устройств. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Дорошев, К.И. Комплектные РУ 6 - 35 кВ. - М.: Энергоатомиздат, 1982.
8. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. - М.: Издательство МЭИ, 2004.
9. Клементьев, В.Р. Монтаж внутризаводских электроустановок/ Клементьев В.Р., Магазинник Л.Т. - М.: Энергоатомиздат, 1996.
10. Лигерман, И.И. Конструирование электроустановок предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1994.
11. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ РМ-016-2001, РД 153-34.2-03.150-00. - М.: НЦ ЭНАС, 2001.
12. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок/ Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю.. - М.: Высшая школа, 2003.
13. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования/

Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Учеб. пособие для вузов. - Энергоатомиздат, 1989.

14. Нормы технологического проектирования подстанций с высшим напряжением 35 - 750 кВ (ОНТП 5-78). - М.: Минэнерго, 1979.

15. Околович, М.Н. Проектирование электрических станций. - М.: Энергоатомиздат, 2007.

16. Отраслевая система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования и энергосетей (ОСТОРЭО). Часть 1 и 2. 1987.

17. Охрана окружающей среды/ Под ред. С.В. Белова. - М.: Высшая школа, 1993.

18. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). - С.-Пб.: Энергоатомиздат, 2003.

19. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Издательский центр «Академия», 2004.

20. Салтыкова, О.А. Релейная защита понизительной подстанции: Учеб. пособие/ Салтыкова О.А., Вахнина В.В., Самолина О.А. - Тольятти: ТГУ, 2007.

21. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1991.

22. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 2005.

23. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети/ Под ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. - М.: Энергоатомиздат. - 1986.

24. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части подстанций в энергосистемах: Учеб. пособие/ Степкина Ю.В., Салтыков В.М. - Тольятти: ТГУ, 2006.

25. Техника безопасности в электроэнергетических установках/ Под ред. П.А. Долина. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

26. Experimental investigations on mixing of two biodiesels blended with diesel as alternative fuel for diesel engines, 2017, K. Srithar, K. Arun Balasubramanian, V. Pavendan, B. Ashok Kumar, 7 p.

27. Joffe E.B., Lock K.-S. Grounds for Grounding: A Circuit to System Handbook, New York: Wiley-IEEE Press, 2010. –1064 p.

28. Kusko A., Thompson M. Power Quality in Electrical Systems, The McGraw-Hill Companies, 2007, DOI: 10.1036/0071470751, 241 p.

29. Macangus-Gerrard G. Offshore Electrical Engineering Manual, 2-nd Edition. –Gulf Professional Publishing, 2018. – 517 p.

30. Morrison R. Grounding and Shielding. Circuits and Interference, 5-th Edition, Wiley + IEEE Press, 2007, 193 p.