

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 Проектирование системы электроснабжения завода по производству
сельскохозяйственного оборудования

Обучающийся

В.Н. Пожарский

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.И. Платов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Темой ВКР является «Проектирование системы электроснабжения завода по производству сельскохозяйственного оборудования».

В данной работе рассчитаны электрические нагрузки:

- производственных цехов (плугов, грабельных решеток, навесных борон, окучников, картофелекопателей, картофелесажалок, сенокосилок, грузоподъемных устройств, вил грузовых, захватов, разбрасывателей, ворошилок для трактора, пресс-подборщиков, установки погрузчиков-стогометателей);
- складского помещения;
- заводоуправления;
- цеха собственных нужд завода;

Затем выбраны силовые трансформаторы и установки компенсации реактивной мощности, рассчитаны токи короткого замыкания (ТКЗ).

Далее выбрано электрооборудование трансформаторных подстанций (ТП) и главной понизительной подстанции (ГПП) по заводу, кабельные линии (КЛ).

На заключительном этапе ВКР проведем расчет заземления и молниезащиты завода.

ВКР включает в себя 55 страниц печатного текста, содержит 7 рисунков, 13 таблиц, 27 источников, включая 5 иностранных, а также 6 чертежей на формате А1.

Abstract

The topic of the final qualifying work is "Design of a power supply system for a plant manufacturing agricultural equipment".

In this work, electrical loads are calculated:

- production shops (plows, rake grids, mounted harrows, hillers, potato diggers, potato planters, hay mowers, lifting devices, forks, grabs, spreaders, tractor tedders, balers, stacker-loader units);
- warehouse;
- plant management;
- plant auxiliary needs shop;

Then, power transformers and reactive power compensation units are selected, short-circuit currents (SCC) are calculated.

Next, electrical equipment of transformer substations (TS) and the main step-down substation (MSS) at the plant, cable lines (CL) are selected.

At the final stage of the final qualification work, we will calculate the grounding and lightning protection of the plant. The final qualification work includes 55 pages of printed text, contains 7 figures, 13 tables, 27 sources, including 5 foreign ones, as well as 6 drawings in A1 format.

Содержание

Введение.....	5
1 Исследование исходных данных и расчет электрических нагрузок.....	8
1.1 Общие сведения о предприятии	8
1.2 Силовая электрическая нагрузка	9
1.3 Осветительная нагрузка.....	15
2 Выбор схемы питания потребителей	22
2.1 Расчет числа и мощности трансформаторов	22
2.2 Технико-экономический расчет схем электроснабжения.....	27
3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования	37
3.1 Определение токов короткого замыкания точек цепи	37
3.2 Выбор силового электрооборудования.....	45
4 Расчет заземления и молниезащиты.....	47
Заключение	52
Список используемых источников.....	53

Введение

Производство сельскохозяйственного оборудования является актуальной и перспективной отраслью, которая играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, повышении эффективности сельского хозяйства и адаптации к новым вызовам. Спрос на современное, высокотехнологичное и экологически чистое сельскохозяйственное оборудование будет продолжать расти в ближайшие годы.

«Создание новых пахотных земель и автоматизированных средств их обработки является критически важным фактором — на фоне низкой ценовой доступности удобрений это самый простой способ обеспечения населения продуктами. Кроме этого, фермерские хозяйства в развитых странах сталкиваются с нехваткой рабочей силы. Это приводит к ускоряющемуся росту спроса на эффективное и автоматизированное оборудование для сельского хозяйства» [18].

«Технологически продвинутая сельскохозяйственная робототехника, такая как автономные тракторы, комбайны и летающие дроны, которые снижают удельные затраты фермеров на производство продуктов питания, будет иметь лучшие перспективы для роста в течение прогнозируемого периода.

Нехватка рабочей силы будет решающим фактором для широкого внедрения автоматизированной с/х техники в США и Западной Европе — наиболее рентабельных и премиальных рынках сбыта. Правительственные инициативы по снижению финансового бремени для фермеров и стимулированию покупки сельскохозяйственной техники также станут важным фактором, предопределяющим рост рынка» [18].

«Спрос на сельскохозяйственную технику носит циклический характер и склонен расти по мере роста цен на сельскохозяйственные товары: цены на сырьевые товары определяют доходы фермеров, которые по мере их роста увеличивают инвестиционную активность и закупку новой техники.

Поскольку предстоящее десятилетие прогнозируется благоприятным для сельскохозяйственной отрасли, можно ожидать рост спроса и локальный всплеск доходов в индустрии агротехники» [18].

Производство сельскохозяйственного оборудования и техники играет ключевую роль в развитии аграрной промышленности государства. На предприятиях по производству сельскохозяйственного оборудования и техники производятся товары следующего типа:

- плуги;
- грабельные решетки;
- навесные бороны;
- окучники;
- картофелекопатели;
- картофелесажалки;
- сенокосилки;
- грузоподъемные устройства;
- вилы грузовые;
- захваты;
- разбрасыватели;
- ворошилки для тракторов;
- пресс-подборщики.

Актуальность производства сельскохозяйственного оборудования обусловлена целым рядом факторов. Во-первых, наблюдается устойчивый рост населения планеты, что влечет за собой необходимость увеличения объемов производства продовольствия. Во-вторых, современные аграрные технологии требуют применения высокопроизводительной и эффективной техники для повышения урожайности и снижения себестоимости продукции. Происходит старение существующего парка сельскохозяйственной техники, что создает потребность в его обновлении и модернизации.

Также, климатические изменения и ухудшение экологической обстановки диктуют необходимость разработки и внедрения более экологически чистой и ресурсосберегающей техники. Развитие точного земледелия и цифровизации сельского хозяйства предъявляет новые требования к функциональности и автоматизации сельскохозяйственного оборудования.

Следует отметить, что государственная поддержка сельского хозяйства, выражающаяся в субсидиях и льготных кредитах, стимулирует инвестиции в новую технику. Экспортный потенциал сельскохозяйственной продукции многих стран требует повышения конкурентоспособности, что невозможно без современной техники. Также растущая стоимость рабочей силы и дефицит квалифицированных кадров в сельской местности делают автоматизацию производственных процессов и использование высокопроизводительной техники необходимым условием для эффективного ведения сельского хозяйства.

Цель работы: проектирование системы электроснабжения завода по производству сельскохозяйственного оборудования и техники.

Поставленная цель достигается путем решения задач по расчету и выбору элементов системы электроснабжения цехов и зданий завода.

1 Исследование исходных данных и расчет электрических нагрузок

1.1 Общие сведения о предприятии

В связи с этим, рассматриваемое предприятие сельскохозяйственного оборудования производит следующее:

- плугов;
- грабельных решеток;
- навесных борон;
- окучников;
- картофелекопателей;
- картофелесажалок;
- сенокосилок;
- грузоподъемных устройств;
- вил грузовых;
- захватов;
- разбрасывателей;
- ворошилок для трактора;
- пресс-подборщиков.

Вспомогательные здания предприятия сельскохозяйственного оборудования включают в себя:

- складское помещение;
- заводоуправление;
- цех собственных нужд завода;
- цех установки погрузчиков-стогометателей.

Помимо вышесказанного, на заводе изготавливаются комплектующие для сельскохозяйственной техники.

1.2 Силовая электрическая нагрузка

«Применим метод расчетных коэффициентов.

Электроприемники (ЭП) сгруппированы по характерным категориям с одинаковыми коэффициентами использования $K_{\text{И}}$ и мощностью. В каждой строке указаны ЭП с одинаковой мощностью» [17].

«Если в справочных материалах представлены интервальные значения $K_{\text{И}}$, для расчетов следует использовать наибольшее из них. Значения $K_{\text{И}}$ должны быть определены так, чтобы вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для соответствующей категории ЭП не превышала 0,05» [6],[17].

«При наличии группы, состоящей из ЭП разных категорий (т.е. с различными $K_{\text{И}}$), средневзвешенный коэффициент:

$$K_{\text{Иср}} = \frac{\sum_1^n K_{\text{И}} \cdot P_{\text{Н}}}{\sum_1^n P_{\text{Н}}}, \quad (1)$$

где n – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу;

$P_{\text{Н}}$ – групповая номинальная (установленная) активная мощность» [17].

«Формула расчета эффективного числа электроприемников:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_{\text{Н}})^2}{\sum n p_{\text{Н}}^2}, \quad (2)$$

где $p_{\text{Н}}$ – номинальная (установленная) мощность одного электроприемника.

Эффективное число электроприемников округляется до ближайшего меньшего целого числа» [17],[22].

Расчет представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Нагрузка завода по производству сельскохозяйственного оборудования

Наименование цехов и зданий	n_i	P_{mini}	P_{maxi}	P_{Hi}	K_{Hi}	$\cos\varphi_i$	$tg\varphi_i$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi}$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi} \cdot tg\varphi_i$	$n_{\Sigma i}$	$K_{\Sigma i}$	$P_{\Sigma i}$	$Q_{\Sigma i}$	$S_{\Sigma i}$	$I_{\Sigma i}$
		кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
1.1.1 Установка изготовления плуга двухкорпусного	7	4,4	8,4	37,8	0,55	0,87	0,57	20,79	11,85	–	–	–	–	–	–
1.1.2 Установка изготовления плуга трехкорпусного	6	4,4	6,4	29,4	0,57	0,84	0,65	16,76	10,89	–	–	–	–	–	–
1.1.3 Установка изготовления плуга в прицепном исполнении	4	4,4	6,4	19,6	0,57	0,84	0,65	11,17	7,26	–	–	–	–	–	–
1.1.4 Установка изготовления плуга в навесном исполнении	7	4,4	8,4	37,8	0,57	0,84	0,65	21,55	14,01	–	–	–	–	–	–
1.1.5 Производство в полунавесном исполнении	13	12,4	24,4	200,2	0,27	0,54	1,56	54,05	84,32	–	–	–	–	–	–
1.1 Цех производства плугов	37	–	–	324,8	0,38	0,70	1,03	124,32	128,33	31	1	123,42	127,12	177,18	269
1.2 Цех производства грабельных решеток	23	5,4	11,4	158,7	0,71	0,82	0,7	112,68	78,88	23	1	112,68	78,88	137,55	209
1.3.1 Установка изготовления дисковой бороны	16	6,4	34,9	216,4	0,63	0,84	0,65	136,33	88,61	–	–	–	–	–	–
1.3.2 Установка изготовления зубовой бороны	17	5,4	34,4	215,1	0,63	0,82	0,7	135,51	94,86	–	–	–	–	–	–
1.3.3 Установка изготовления роторной бороны	13	3,4	27,4	122,2	0,16	0,55	1,52	19,55	29,72	–	–	–	–	–	–
1.3 Цех производства навесных борон	46	–	–	553,7	0,53	0,81	0,73	291,39	213,19	35	1	293,46	214,23	363,34	552

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и зданий	n_i	P_{mini}	P_{maxi}	P_{Hi}	K_{Hi}	$\cos\varphi_i$	$tg\varphi_i$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi}$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi} \cdot tg\varphi_i$	$n_{эi}$	K_{pi}	P_{pi}	Q_{pi}	S_{pi}	I_{pi}
		кВт	кВт	кВт	—	—	—	кВт	квар	—	—	кВт	квар	кВА	А
1.4.1 Установка изготовления трехкорпусных окучников	13	8,4	14,4	128,7	0,84	0,51	1,69	67,5	114,75	—	—	—	—	—	—
1.4.2 Установка изготовления пятикорпусных окучников	18	9,4	15,4	196,2	0,82	0,72	0,96	100	90	—	—	—	—	—	—
1.4.3 Установка изготовления семикорпусных окучников	23	8,4	85,4	636,0	0,16	0,51	1,69	100	90	—	—	—	—	—	—
1.4 Цех производства окучников	54	—	—	960,9	0,28	0,67	1,10	267,5	294,75	46	1	269,05	295,96	399,98	608
1.5.1 Установка изготовления навесных однорядных и двухрядных картофелекопателей	31	7,4	12,4	268,2	0,57	0,81	0,72	152,87	110,07	—	—	—	—	—	—
1.5.2 Установка изготовления полунавесных однорядных и двухрядных картофелекопателей	15	4,4	17,4	114,8	0,21	0,61	1,3	24,11	31,34	—	—	—	—	—	—
1.5 Цех производства картофелекопателей	46	—	—	383,0	0,46	0,78	0,80	176,98	141,41	14	1	176,18	140,94	225,62	343
1.6.1 Установка изготовления картофелесажалок двухрядных	25	14,4	102,4	910,0	0,73	0,73	0,94	664,3	624,44	—	—	—	—	—	—
1.6.2 Установка изготовления картофелесажалок четырехрядных	9	4,4	23,4	82,4	0,33	0,49	1,78	27,19	48,4	—	—	—	—	—	—
1.6 Цех производства картофелесажалок	34	—	—	992,4	0,70	0,72	0,97	691,49	672,84	41	1	694,68	673,84	967,80	1470

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и зданий	n_i	P_{mini}	P_{maxi}	P_{Hi}	K_{Hi}	$\cos\varphi_i$	$tg\varphi_i$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi}$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi} \cdot tg\varphi_i$	$n_{эi}$	K_{pi}	P_{pi}	Q_{pi}	S_{pi}	I_{pi}
		кВт	кВт	кВт	–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
1.7.1 Установка изготовления сенокосилок роторных	61	9,4	51,4	1213,9	0,65	0,82	0,7	789,04	552,33	–	–	–	–	–	–
1.7.2 Установка изготовления сенокосилок сегментных	30	7,4	106,4	964,5	0,17	0,55	1,52	163,97	249,23	–	–	–	–	–	–
1.7 Цех производства сенокосилок	91	–	–	2178,4	0,44	0,77	0,84	953,01	801,56	46	1	958,50	805,14	1251,79	1902
1.8.1 Установка изготовления грузоподъемных устройств	61	6,4	65,4	1290,2	0,81	0,82	0,7	1045,06	731,54	–	–	–	–	–	–
1.8.2 Установка изготовления стрел для фронтальных погрузчиков	97	9,4	181,4	5082,8	0,36	0,71	0,99	1829,81	1811,51	–	–	–	–	–	–
1.8 Цех производства грузоподъемных устройств	158	–	–	6373,0	0,45	0,75	0,88	2874,87	2543,05	71	1	2867,85	2523,71	3820,17	5804
1.9.1 Установка изготовления вил для фронтальных погрузчиков	149	9,4	26,4	2033,9	0,72	0,76	0,86	1464,41	1259,39	–	–	–	–	–	–
1.9.2 Установка изготовления вил палетных	90	7,4	107,4	2916,0	0,21	0,47	1,88	612,36	1151,24	–	–	–	–	–	–
1.9 Цех производства вил грузовых	239	–	–	4949,9	0,42	0,65	1,16	2076,77	2410,63	43	1	2078,96	2411,59	3184,00	4838
1.10.1 Установка изготовления захватов вильчатых	143	5,4	53,4	2488,2	0,65	0,81	0,72	1617,33	1164,48	–	–	–	–	–	–
1.10.2 Установка изготовления захватов рулонных	99	5,4	120,4	3380,9	0,22	0,56	1,48	743,8	1100,82	–	–	–	–	–	–
1.10 Цех производства захватов	242	–	–	5869,1	0,40	0,72	0,96	2361,13	2265,3	49	1	2347,64	2253,73	3254,34	4944

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и зданий	n_i	P_{mini}	P_{maxi}	P_{Hi}	K_{Hi}	$\cos\varphi_i$	$tg\varphi_i$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi}$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi} \cdot tg\varphi_i$	$n_{эi}$	K_{pi}	P_{pi}	Q_{pi}	S_{pi}	I_{pi}
		кВт	кВт	кВт	—	—	—	кВт	квар	—	—	кВт	квар	кВА	А
1.11.1 Установка изготовления разбрасывателей песка и минеральных удобрений	76	6,4	96,4	2196,4	0,71	0,77	0,83	1559,44	1294,34	—	—	—	—	—	—
1.11.2 Установка изготовления прицепов-разбрасывателей	35	7,4	81,4	906,5	0,31	0,66	1,14	281,02	320,36	—	—	—	—	—	—
1.11.3 Установка изготовления прицепов-цистерн	58	5,4	47,4	922,2	0,76	0,81	0,72	700,87	504,63	—	—	—	—	—	—
1.11 Цех производства разбрасывателей	169	—	—	4025,1	0,63	0,77	0,83	2541,33	2119,33	64	1	2535,81	2104,72	3295,48	5007
1.12.1 Установка изготовления веерных грабель-ворошилок	8	4,4	5,4	37,2	0,68	0,81	0,72	25,3	18,22	—	—	—	—	—	—
1.12.2 Установка изготовления роторных грабель-ворошилок	17	7,4	33,4	236,3	0,23	0,62	1,27	54,35	69,02	—	—	—	—	—	—
1.12 Цех производства ворошилок для трактора	25	—	—	273,5	0,29	0,67	1,10	79,65	87,24	17	1,16	92,01	101,21	136,78	208
1.13 Складское помещение	37	5,4	63,4	736,3	0,51	0,51	1,69	375,51	634,61	37	1	375,51	634,61	737,39	1120
1.14 Заводоуправление	16	5,4	9,4	102,4	0,73	0,81	0,72	74,75	53,82	16	1	74,75	53,82	92,11	140
1.15.1 Насосная установка	18	6,4	9,4	128,7	0,55	0,71	0,99	70,79	70,08	—	—	—	—	—	—
1.15.2 Электрооборудование собственных нужд завода	9	4,4	8,4	48,6	0,72	0,47	1,88	34,99	65,78	—	—	—	—	—	—
1.15 Цех собственных нужд завода	27	—	—	177,3	0,60	0,62	1,28	105,78	135,86	11	1	106,38	136,17	172,80	263

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и зданий	n_i	P_{mini}	P_{maxi}	P_{Hi}	K_{Hi}	$\cos\varphi_i$	$tg\varphi_i$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi}$	$K_{Hi} \cdot P_{Hi} \cdot tg\varphi_i$	$n_{\Sigma i}$	K_{Pi}	P_{Pi}	Q_{Pi}	S_{Pi}	I_{Pi}
		кВт	кВт	кВт	—	—	—	кВт	квар	—	—	кВт	квар	кВА	А
1.16.1 Установка изготовления пресс-подборщиков с шпагатом	28	5,4	9,4	179,2	0,56	0,87	0,57	100,35	57,2	—	—	—	—	—	—
1.16.2 Установка изготовления пресс-подборщиков с сеткой	14	4,4	12,4	89,6	0,34	0,47	1,88	30,46	57,26	—	—	—	—	—	—
1.16.3 Установка изготовления пресс-подборщиков с пленкой	9	5,4	12,4	64,4	0,33	0,47	1,88	21,25	39,95	—	—	—	—	—	—
1.16 Цех производства пресс-подборщиков	51	—	—	333,2	0,46	0,70	1,02	152,06	154,41	16	1	153,27	156,34	218,94	333
1.17.1 Установка изготовления стогометателей	11	5,4	9,4	70,4	0,66	0,81	0,72	46,46	33,45	—	—	—	—	—	—
1.17.1 Установка изготовления оснастки	18	6,4	24,4	196,2	0,21	0,62	1,27	41,2	52,32	—	—	—	—	—	—
1.17 Цех установки погрузчиков-стогометателей	29	—	—	266,6	0,33	0,71	0,98	87,66	85,77	16	1	87,98	86,22	123,18	187
—	1324	3,4	181,4	28658	—	—	—	13347	12821	—	—	13348	12798	18558	28196

«Коэффициент расчетной нагрузки K_p определяется на основе средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников. Этот коэффициент расчетной мощности необходим для вычисления расчетной активной мощности» [17],[24].

«Формула расчета активной мощности:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_{н}, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности;

$K_{и}$ – коэффициент использования;

$P_{н}$ – номинальная мощность, кВт» [17].

«По рассчитанному для каждой группы электроприемников значению P_p определяется реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [17].

«Для напряжения сети электроснабжения до 1 кВ при $n_{\Sigma} \leq 10$, значение расчетной реактивной мощности необходимо умножить на коэффициент 1,1 (п.3.2.8.1)» [17],[23].

1.3 Осветительная нагрузка

«Расчетные нагрузки должны учитывать нагрузку искусственного освещения внутри цехов завода по производству сельскохозяйственного оборудования, а также уличное освещение на территории» [22].

«Для искусственного освещения следует использовать энергоэффективные источники света, отдавая предпочтение при равной

мощности источникам света с наибольшими световой отдачей и сроком службы, с учетом требований к цветоразличению» [19].

Для наружного освещения принимаем светодиодные светильники GALAD Волна M LED как наиболее энергоэффективные.

«Осветительная нагрузка завода, занимающегося производством сельскохозяйственного оборудования, будем рассчитывать с использованием метода удельной мощности:

$$P_{\text{осв}} = F_{\text{осв}} \cdot S_{\text{осв}} \cdot K_{\text{осв}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где $F_{\text{осв}}$ – освещаемая площадь, м²;

$S_{\text{осв}}$ – удельная плотность нагрузки, Вт/м²;

$K_{\text{осв}}$ – коэффициент спроса» [6].

«Наименьшая освещенность цехов завода по производству сельскохозяйственного оборудования составляет 300 лк» [6].

«Для данной освещенности соответствует значение удельной мощности 13-21 Вт/м²» [19].

«Для устанавливаемых светодиодных светильников коэффициент мощности составляет 0,95» [9],[25].

Принимаем для внутреннего освещения светильники GALAD Арклайн Эконом LED как наиболее экономичные с точки зрения электропотребления.

Осветительная нагрузка завода по производству сельскохозяйственного оборудования представлена в таблице 2, а расчет общей нагрузки представлен в таблице 3.

Таблица 2 – Осветительная нагрузка завода по производству сельскохозяйственного оборудования

Наименование	F_{Oi}	γ_i	K_{Ci}	$\cos\varphi_i$	$\tan\varphi_i$	P_{Oi}	Q_{Oi}	S_{Oi}
	м ²	Вт/м ²	–	–	–	кВт	квар	кВА
1.1 Цех производства плугов	1230	16,1	0,84	0,96	0,29	16,6	4,8	17,3
1.2 Цех производства грабельных решеток	824	13,1	0,61	0,96	0,29	6,6	1,9	6,9
1.3 Цех производства навесных борон	782	17,1	0,87	0,96	0,29	11,6	3,4	12,1
1.4 Цех производства окучников	7124	13,1	0,63	0,96	0,29	58,8	17,1	61,2
1.5 Цех производства картофелекопателей	1293	17,1	0,63	0,96	0,29	13,9	4,0	14,5
1.6 Цех производства картофелесажалок	1069	17,1	0,86	0,96	0,29	15,7	4,6	16,4
1.7 Цех производства сенокосилок	6397	16,1	0,96	0,96	0,29	98,9	28,7	103,0
1.8 Цех производства грузоподъемных устройств	10755	17,1	0,97	0,96	0,29	178,4	51,7	185,7
1.9 Цех производства вил грузовых	9969	21,1	0,95	0,96	0,29	199,8	57,9	208,0
1.10 Цех производства захватов	18373	17,1	0,98	0,96	0,29	307,9	89,3	320,6

Продолжение таблицы 2

Наименование	F_{Oi}	γ_i	K_{Ci}	$\cos\varphi_i$	$\operatorname{tg}\varphi_i$	P_{Oi}	Q_{Oi}	S_{Oi}
	м ²	Вт/м ²	—	—	—	кВт	квар	кВА
1.11 Цех производства разбрасывателей	9875	17,1	0,96	0,96	0,29	162,1	47,0	168,8
1.12 Цех производства ворошилок для трактора	1615	17,1	0,97	0,96	0,29	26,8	7,8	27,9
1.13 Складское помещение	3849	16,1	0,96	0,96	0,29	59,5	17,3	62,0
1.14 Заводоуправление	3197	19,1	0,95	0,96	0,29	58,0	16,8	60,4
1.15 Цех собственных нужд завода	733	19,1	0,93	0,96	0,29	13,0	3,8	13,5
1.16 Цех производства пресс-подборщиков	1748	19,1	0,83	0,96	0,29	27,7	8,0	28,8
1.17 Цех установки погрузчиков-стогометателей	1153	21,1	0,63	0,96	0,29	15,3	4,4	15,9
Всего	79986	—	—	0,96	0,29	1271	369	1323

Таблица 3 – Общая нагрузка завода по производству сельскохозяйственного оборудования

Наименование	P_{pi}	Q_{pi}	S_{pi}	P_{Oi}	Q_{Oi}	S_{Oi}	P'_{pi}	Q'_{pi}	S'_{pi}
	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1.1 Цех производства плугов	123,4	127,1	177,2	16,6	4,8	17,3	140,0	131,9	194,5
1.2 Цех производства грабельных решеток	112,7	78,9	137,6	6,6	1,9	6,9	119,3	80,8	144,5
1.3 Цех производства навесных борон	293,5	214,2	363,3	11,6	3,4	12,1	305,1	217,6	375,4
1.4 Цех производства окучников	269,1	296,0	400,0	58,8	17,1	61,2	327,9	313,1	461,2
1.5 Цех производства картофелекопателей	176,2	140,9	225,6	13,9	4,0	14,5	190,1	144,9	240,1
1.6 Цех производства картофелесажалок	694,7	673,8	967,8	15,7	4,6	16,4	710,4	678,4	984,2
1.7 Цех производства сенокосилок	958,5	805,1	1251,8	98,9	28,7	103,0	1057,4	833,8	1354,8
1.8 Цех производства грузоподъемных устройств	2867,9	2523,7	3820,2	178,4	51,7	185,7	3046,3	2575,4	4005,9
1.9 Цех производства вил грузовых	2079,0	2411,6	3184,0	199,8	57,9	208,0	2278,8	2469,5	3392,0
1.10 Цех производства захватов	2347,6	2253,7	3254,3	307,9	89,3	320,6	2655,5	2343,0	3574,9

Продолжение таблицы 3

Наименование	P_{pi}	Q_{pi}	S_{pi}	P_{Oi}	Q_{Oi}	S_{Oi}	P'_{pi}	Q'_{pi}	S'_{pi}
	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1.11 Цех производства разбрасывателей	2535,8	2104,7	3295,5	162,1	47,0	168,8	2697,9	2151,7	3464,3
1.12 Цех производства ворошилок для трактора	92,0	101,2	136,8	26,8	7,8	27,9	118,8	109,0	164,7
1.13 Складское помещение	375,5	634,6	737,4	59,5	17,3	62,0	435,0	651,9	799,4
1.14 Заводоуправление	74,8	53,8	92,1	58,0	16,8	60,4	132,8	70,6	152,5
1.15 Цех собственных нужд завода	106,4	136,2	172,8	13,0	3,8	13,5	119,4	140,0	186,3
1.16 Цех производства пресс-подборщиков	153,3	156,3	218,9	27,7	8,0	28,8	181,0	164,3	247,7
1.17 Цех установки погрузчиков-стогометателей	88,0	86,2	123,2	15,3	4,4	15,9	103,3	90,6	139,1
Всего	13348	12798	18559	1271	369	1323	14619	13167	19882

«Конструкция и кривая силы света (КСС) данных светильников представлены на рисунке 1 и 2 соответственно» [4].

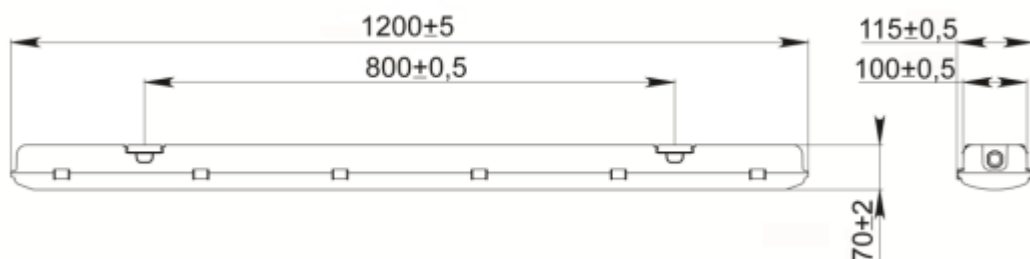


Рисунок 1 – Конструкция светильников

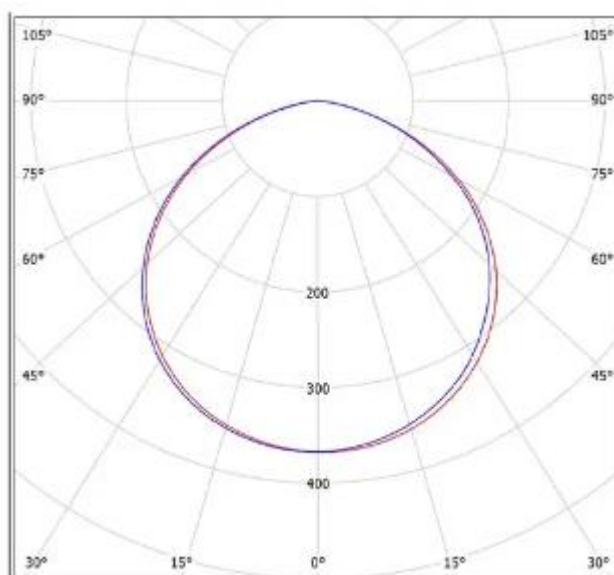


Рисунок 2 – КСС светильников

Выводы по разделу.

Завод сельскохозяйственного оборудования, имеет осветительную нагрузку в 1323 кВА и полную расчетную мощность 19882 кВА.

2 Выбор схемы питания потребителей

2.1 Расчет числа и мощности трансформаторов

«Электроснабжение цехов завода осуществляется от внешних электросетей напряжением 110 кВ.

Принимаем глухозаземленную нейтраль трансформатора для напряжения сети 380/220В и тип системы заземления TN-C-S» [7].

«Полную мощность трансформатора для каждой ТП определим по методу удельной плотности нагрузок» [22],[26].

«По формуле ниже определим удельную мощность:

$$\sigma_{уд} = \frac{S'_{расч}}{F_3}, \quad (6)$$
$$\sigma_{уд} = \frac{19881}{575 \cdot 430} = 0,08 \text{ кВА/м}^2,$$

где $S'_{расч}$ – полная расчетная мощность цехов завода по производству сельскохозяйственного оборудования, кВА;

F_3 – площадь завода по производству сельскохозяйственного оборудования, м²» [14].

«Так как преобладает первая категория надежности, коэффициент загрузки принимается равным 0,7» [14],[27].

«Для электроснабжения отдельных цехов необходимо использование двух и более подстанций. Во время аварийных ситуаций рабочие трансформаторы должны покрывать 40% перегрузку во время отключения одного из трансформаторов» [14],[22].

«Питание потребителей завода по производству сельскохозяйственного оборудования осуществляется от девяти ТП с двумя трансформаторами мощностью 1250 кВА» [14].

«Для уменьшения доли реактивной нагрузки требуется установка компенсирующих устройств. Теперь проведем расчет их мощности» [22].

«Меры по компенсации реактивной мощности и размещение компенсирующих устройств должны быть согласованы с электроснабжением всего завода, требованиями электроснабжающей организации и основываться на технико-экономическом расчете» [13].

«Наибольшая реактивная мощность Q , которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 6-10 кВ без увеличения числа трансформаторов:

$$Q_{\text{бк.сум}} = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot k_{3.\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}})^2 - P'_{\text{р}}^2}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{бк.сум}} = \sqrt{(1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1250)^2 - 14619^2} = 9298 \text{ квар.}$$

где $P'_{\text{расч}}$ – активная нагрузка с учетом освещения, кВт;

$S_{\text{тр}}$ – мощность трансформатора, кВА.

Рассчитаем мощность одной конденсаторной батареи:

$$Q_{\text{бк}} = \frac{Q_{\text{бк.сум}}}{N}, \quad (8)$$

$$Q_{\text{бк}} = \frac{9298}{18} = 517 \text{ квар,}$$

где $Q'_{\text{расч}}$ – реактивная нагрузка с учетом освещения, квар.

Установим на ТП завода по производству сельскохозяйственного оборудования УКРМ мощностью 600 квар в общем количестве 18 шт. Суммарная мощность УКРМ составляет 10800 квар» [11],[12].

«Исходя из методики расчета удельной плотности нагрузки, необходимо определить центры электрических нагрузок (ЦЭН)» [17].

«Оптимальный выбор расположения источников питания играет ключевую роль в создании эффективной распределительной сети. ПС всех

мощностей, напряжений и токов должны находиться как можно ближе к центральным электрическим нагрузкам, к которым они подключены. Для определения наиболее выгодного варианта расположения ПС на территории предприятия разрабатываются картограммы нагрузок» [22].

«ЦЭН завода определяется по формуле:

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{\text{ц}} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i}, \quad (9)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [22].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок определяется по формуле:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (10)$$

где S – расчетная нагрузка i -го потребителя, кВА;

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [22].

«К шинам ГПП с напряжением 10 кВ подключены синхронные и асинхронные двигатели. Принципиальная схема ГПП представлена на рисунке 3.

С учетом компенсации вычислим коэффициенты загрузки трансформаторов. При питании потребителя от нескольких ТП, учитывается отключение только одного трансформатора» [12]. Расчет представлен в таблице 4.

Таблица 4 – ЦЭН завода по производству сельскохозяйственного оборудования

Наименование	P'_{pi}	Q'_{pi}	$Q_{УКРМi}$	S''_{pi}	x_i	y_i	k_{zi}	r_i
	кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-2.1	1792,8	1566,7	2×600	1792,90	246	486	0,717	–
1.1 Цех производства плугов	140	131,9	–	194,5	195	575	–	9,4
1.2 Цех производства грабельных решеток	119,3	80,8	–	144,5	125	515	–	8,11
1.3 Цех производства навесных борон	305,1	217,6	–	375,4	250	535	–	13,07
1.4 Цех производства окучников	327,9	313,1	–	461,2	145	455	–	14,48
1.5 Цех производства картофелекопателей	190,1	144,9	–	240,1	350	485	–	10,45
1.6 Цех производства картофелесажалок	710,4	678,4	–	984,2	295	460	–	21,16
ТП-2.2, ТП-2.3	3046,3	2575,4	4×600	3046,329	425	390	0,609	–
1.8 Цех производства грузоподъемных устройств	3046,3	2575,4	–	4005,9	425	390	–	42,68
ТП-2.4, ТП-2.5	3336,2	3303,3	4×600	3336,34	185	329,26	0,667	–
1.7 Цех производства сенокосилок	1057,4	833,8	–	1354,8	185	390	–	24,82
1.9 Цех производства вил грузовых	2278,8	2469,5	–	3392	185	305	–	39,27

Продолжение таблицы 4

Наименование	P'_{pi}	Q'_{pi}	$Q_{УКРМi}$	S''_{pi}	x_i	y_i	k_{3i}	r_i
	кВт	квар	квар	кВА	м	м	—	м
ТП-2.6-ТП-2.9	6443,7	5721,1	8×600	6443,77	326	187	0,644	—
1.10 Цех производства захватов	2655,5	2343	—	3574,9	440	225	—	40,32
1.11 Цех производства разбрасывателей	2697,9	2151,7	—	3464,3	185	200	—	39,69
1.12 Цех производства ворошилок для трактора	118,8	109	—	164,7	535	115	—	8,65
1.13 Складское помещение	435	651,9	—	799,4	420	115	—	19,07
1.14 Заводоуправление	132,8	70,6	—	152,5	165	30	—	8,33
1.15 Цех собственных нужд завода	119,4	140	—	186,3	235	30	—	9,2
1.16 Цех производства пресс-подборщиков	181	164,3	—	247,7	315	35	—	10,61
1.17 Цех установки погрузчиков-стогометателей	103,3	90,6	—	139,1	425	45	—	7,95

«Принятие схемы питания 110 кВ и выше определяется технико-экономическими сопоставлениями с учетом особенностей данного предприятия, электрической нагрузки, взаимного расположения районных подстанций в ГПП, ожидаемой перспективы развития существующей схемы электроснабжения, степени загрязненности атмосферы, возможностями монтажных работ.

Для электроснабжения потребителей завода применяются следующие схемы:

- радиальная,
- магистральная» [13].

Наиболее эффективную схему определим расчетным путем.

2.2 Технико-экономический расчет схем электроснабжения

Рассчитаем радиальную и магистральную схемы с кабелями марки АПвБШп.

«Ток линии:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n}, \quad (11)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [14].

«Сечение кабельной линии:

$$F = \frac{I}{j} \quad (12)$$

где I – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36» [14].

«Для выбранной марки кабеля $j = 1,6 \text{ А/мм}^2$, поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5100 часов» [14].

«Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}}, \quad (13)$$

где $I_{\text{справ}}$ – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле, принимаемый по таблице 1.3.7;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее, согласно таблицы 1.3.26. Для двух кабелей принимаем $k_{\text{п}} = 0,9$.

k_t – коэффициент поправки на температуру среды, согласно таблицы 1.3.3 ПУЭ. Принимаем равным $k_t = 1,06$;

$k_{\text{ж}}$ – коэффициент поправки на количество жил. Для четырехжильного кабеля принимаем $k_{\text{ж}} = 0,92$ » [14].

«Следует предусматривать резервирование в схеме электроснабжения так, чтобы все ее элементы, как правило, в рабочем режиме были под нагрузкой, а в послеаварийных режимах обеспечивалось функционирование основных производств предприятия и учитывалась перегрузочная способность электрооборудования и линий электропередач» [13].

«При послеаварийном режиме отключен один из кабелей. Поэтому коэффициент прокладки меняет свое значение $k_{\text{п}} = 1$ » [14].

«Потребители электрической энергии работают нормально, когда на их зажимы подается то напряжение, на которое рассчитаны данный электродвигатель или устройство. При передаче электроэнергии по проводам часть напряжения теряется на сопротивление проводов и в результате в конце линии, т. е. у потребителя, напряжение получается меньшим, чем в начале линии» [16].

«Понижение напряжения у потребителя по сравнению с нормальным сказывается на работе токоприемника, будь то силовая или осветительная нагрузка. Поэтому при расчете любой линии электропередачи отклонения напряжений не должны превышать допустимых норм, сети, выбранные по току нагрузки и рассчитанные на нагрев, как правило, проверяют по потере напряжения» [16].

Расчетные значения допустимых токов радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 5 и 6 соответственно.

«Рассчитаем потери напряжения. Нормативные требования предусматривают для сетей 10 кВ допустимые потери напряжений не более 5%» [16].

В процессе передачи электрической энергии от одного узла сети к другому происходит снижение электрического напряжения. Поэтому проведем расчет потерь напряжения.

«По формуле ниже определим потери напряжения в кабельных линиях:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_n} l, \quad (14)$$

где r_0 , x_0 – активное и индуктивное сопротивления кабеля, Ом/км;

l – длина КЛ, км;

P , Q – активная и реактивная мощность протекающая через КЛ завода» [16].

«Для силовых сетей отклонение напряжения от нормального должно составлять не более $\pm 5\%$, для сетей электрического освещения промышленных предприятий и общественных зданий – от +5 до – 2,5%, для сетей электрического освещения жилых зданий и наружного освещения $\pm 5\%$. При расчете сетей исходят из допустимой потери напряжений» [16].

«Расчетные значения потерь радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 7 и 8 соответственно, а финансовые затраты для установки на местности в таблицах 9 и 10» [22].

Таблица 5 – Расчет радиальной схемы

Линия	P'_{pi}	Q'_{pi}	S''_{pi}	I_{pi}	I_{pai}	F_{pi}	F_{ni}	$I_{спi}$	$I_{д,pi}$	$I_{д,pai}$
	кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ТП-3.1-ТП-2.1	1792,80	18,94	1792,90	51,76	103,52	32,35	35	148	129,90	144,33
ТП-3.1-ТП-2.2	1523,15	1300,70	2002,95	57,82	115,64	36,14	50	193	169,39	188,21
ТП-3.1-ТП-2.3	1523,15	1300,70	2002,95	57,82	115,64	36,14	50	193	169,39	188,21
ТП-3.1-ТП-2.4	1668,10	15,28	1668,17	48,16	96,32	30,10	35	148	129,90	144,33
ТП-3.1-ТП-2.5	1668,10	15,28	1668,17	48,16	96,32	30,10	35	148	129,90	144,33
ТП-3.1-ТП-2.6	1610,93	5,68	1610,94	46,50	93,00	29,06	35	148	129,90	144,33
ТП-3.1-ТП-2.7	1610,93	5,68	1610,94	46,50	93,00	29,06	35	148	129,90	144,33
ТП-3.1-ТП-2.8	1610,93	5,68	1610,94	46,50	93,00	29,06	35	148	129,90	144,33
ТП-3.1-ТП-2.9	1610,93	5,68	1610,94	46,50	93,00	29,06	35	148	129,90	144,33

Таблица 6 – Расчет магистральной схемы

Линия	P'_{pi}	Q'_{pi}	S''_{pi}	I_{pi}	I_{pai}	F_{pi}	F_{ni}	$I_{спи}$	$I_{д,pi}$	$I_{д,pai}$
	кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ТП-3.1-ТП-2.1	5572,38	3248,58	6450,17	186,20	372,40	116,38	150	440	386,18	429,09
ТП-2.1-ТП-2.2	4005,68	2375,86	4657,27	134,44	268,88	84,03	95	312	273,84	304,26
ТП-2.2-ТП-2.3	2717,98	1560,52	3134,11	90,47	180,94	56,54	70	248	217,66	241,85
ТП-3.1-ТП-2.4	7594,13	3010,74	8169,17	235,82	471,64	147,39	150	440	386,18	429,09
ТП-2.4-ТП-2.5	5942,48	2636,27	6501,00	187,67	375,34	117,29	120	372	326,50	362,77
ТП-2.5-ТП-2.6	4290,83	2223,74	4832,83	139,51	279,02	87,19	95	312	273,84	304,26
ТП-2.6-ТП-2.7	2860,55	1482,51	3221,89	93,01	186,02	58,13	70	248	217,66	241,85
ТП-2.7-ТП-2.8	1430,28	741,23	1610,94	46,50	93,00	29,06	35	148	129,90	144,33
ТП-2.3-ТП-2.9	1430,28	741,23	1610,94	46,50	93,00	29,06	35	148	129,90	144,33

Таблица 7 – Потери напряжения радиальной схемы

Линия	P'_{pi}	Q'_{pi}	S''_{pi}	F_{ni}	$r_{кли}$	$x_{кли}$	l_i	ΔU_{pi}	ΔU_{pai}
	кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ТП-3.1-ТП-2.1	1792,80	18,94	1792,90	35	0,951	0,089	307	2,62%	5,24%
ТП-3.1-ТП-2.2	1523,15	1300,70	2002,95	50	0,666	0,088	155	0,87%	1,74%
ТП-3.1-ТП-2.3	1523,15	1300,70	2002,95	50	0,666	0,088	176	0,99%	1,98%
ТП-3.1-ТП-2.4	1668,10	15,28	1668,17	35	0,951	0,089	255	2,02%	4,04%
ТП-3.1-ТП-2.5	1668,10	15,28	1668,17	35	0,951	0,089	156	1,24%	2,48%
ТП-3.1-ТП-2.6	1610,93	5,68	1610,94	35	0,951	0,089	156	1,20%	2,40%
ТП-3.1-ТП-2.7	1610,93	5,68	1610,94	35	0,951	0,089	79	0,61%	1,22%
ТП-3.1-ТП-2.8	1610,93	5,68	1610,94	35	0,951	0,089	79	0,61%	1,22%
ТП-3.1-ТП-2.9	1610,93	5,68	1610,94	35	0,951	0,089	79	0,61%	1,22%

Таблица 8 – Потери напряжения магистральной схемы

Линия	P'_{pi}	Q'_{pi}	S''_{pi}	F_{ni}	$r_{кли}$	$x_{кли}$	l_i	ΔU_{pi}	ΔU_{pai}
	кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ТП-3.1-ТП-2.1	5572,38	3248,58	6450,17	150	0,222	0,082	307	2,31%	4,62%
ТП-2.1-ТП-2.2	4005,68	2375,86	4657,27	95	0,351	0,085	15	0,12%	0,24%
ТП-2.2-ТП-2.3	2717,98	1560,52	3134,11	70	0,476	0,087	156	1,12%	2,24%
ТП-3.1-ТП-2.4	7594,13	3010,74	8169,17	150	0,222	0,082	76	0,73%	1,46%
ТП-2.4-ТП-2.5	5942,48	2636,27	6501,00	120	0,278	0,084	105	0,98%	1,96%
ТП-2.5-ТП-2.6	4290,83	2223,74	4832,83	95	0,351	0,085	157	1,33%	2,66%
ТП-2.6-ТП-2.7	2860,55	1482,51	3221,89	70	0,476	0,087	205	1,53%	3,06%
ТП-2.7-ТП-2.8	1430,28	741,23	1610,94	35	0,951	0,089	26	0,19%	0,38%
ТП-2.3-ТП-2.9	1430,28	741,23	1610,94	35	0,951	0,089	26	0,19%	0,38%

Таблица 9 – Стоимость монтажа радиальной схемы

Линия	P'_{pi}	Q'_{pi}	S''_{pi}	F_{ni}	l_i	p_{ki}	$C_{кли}$	$C_{при}$	$C_{разi}$	$C_{засi}$	$C_{сумi}$
	кВт	квар	кВА	мм ²	м	руб/м	тыс.руб				
ТП-3.1-ТП-2.1	1792,80	18,94	1792,90	35	307	445	273,23	56,49	99,78	89,64	519,14
ТП-3.1-ТП-2.2	1523,15	1300,70	2002,95	50	155	520	161,20	28,52	50,38	45,26	285,36
ТП-3.1-ТП-2.3	1523,15	1300,70	2002,95	50	176	520	183,04	32,38	57,20	51,39	324,01
ТП-3.1-ТП-2.4	1668,10	15,28	1668,17	35	255	445	226,95	46,92	82,88	74,46	431,21
ТП-3.1-ТП-2.5	1668,10	15,28	1668,17	35	156	445	138,84	28,70	50,70	45,55	263,79
ТП-3.1-ТП-2.6	1610,93	5,68	1610,94	35	156	445	138,84	28,70	50,70	45,55	263,79
ТП-3.1-ТП-2.7	1610,93	5,68	1610,94	35	79	445	70,31	14,54	25,68	23,07	133,60
ТП-3.1-ТП-2.8	1610,93	5,68	1610,94	35	79	445	70,31	14,54	25,68	23,07	133,60
ТП-3.1-ТП-2.9	1610,93	5,68	1610,94	35	79	445	70,31	14,54	25,68	23,07	133,60
Итого:	—	—	—	—	—	—	1333,03	265,33	468,68	421,06	2488,1

Таблица 10 – Стоимость монтажа магистральной схемы

Линия	P'_{pi}	Q'_{pi}	S''_{pi}	F_{ni}	l_i	p_{ki}	$C_{кли}$	$C_{при}$	$C_{раз}$	$C_{зас}$	$C_{сум}$
	кВт	квар	кВА	мм ²	м	руб/м	тыс.руб				
ТП-3.1-ТП-2.1	5572,38	3248,58	6450,17	150	307	1020	626,28	56,49	99,78	89,64	872,19
ТП-2.1-ТП-2.2	4005,68	2375,86	4657,27	95	15	745	22,35	2,76	4,88	4,38	34,37
ТП-2.2-ТП-2.3	2717,98	1560,52	3134,11	70	156	620	193,44	28,70	50,70	45,55	318,39
ТП-3.1-ТП-2.4	7594,13	3010,74	8169,17	150	76	1020	155,04	13,98	24,70	22,19	215,91
ТП-2.4-ТП-2.5	5942,48	2636,27	6501,00	120	105	870	182,70	19,32	34,13	30,66	266,81
ТП-2.5-ТП-2.6	4290,83	2223,74	4832,83	95	157	745	233,93	28,89	51,03	45,84	359,69
ТП-2.6-ТП-2.7	2860,55	1482,51	3221,89	70	205	620	254,20	37,72	66,63	59,86	418,41
ТП-2.7-ТП-2.8	1430,28	741,23	1610,94	35	26	445	23,14	4,78	8,45	7,59	43,96
ТП-2.3-ТП-2.9	1430,28	741,23	1610,94	35	26	445	23,14	4,78	8,45	7,59	43,96
Итого:	—	—	—	—	—	—	1714,22	197,42	348,75	313,30	2573,69

«Полученная величина не должна быть больше допустимой потери напряжения. Если же она оказалась больше допустимой, то придется взять провод большего (следующего) сечения и произвести расчет повторно» [16].

«Допустимые потери напряжения для расчетных схем соблюдаются» [3].

«Затраты на установку кабельных сетей включают в себя стоимость кабельной продукции и затраты на монтажные работы. Капиталовложения, требуемые для прокладки кабельных сетей, также учитываются:

$$C = C_{\text{кл}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{раз}} + C_{\text{зас}} = (K_{\text{кл}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{раз}} + K_{\text{зас}}) \cdot l \quad (15)$$

где $K_{\text{кл}}$ – стоимость закупки погонного метра кабеля, руб/м;

$K_{\text{пр}}$ – стоимость прокладки погонного метра кабеля, руб/м;

$K_{\text{раз}}$ – стоимость разработки грунта для траншеи, руб/м;

$K_{\text{зас}}$ – стоимость засыпки, руб/м» [10],[20].

Выводы по разделу.

Для электроснабжения завода по производству сельскохозяйственного оборудования принято девять ТП с 2×ТМГ-1250/10/0,4 и батареи 2×600 квар по радиальной схеме.

3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования

3.1 Определение токов короткого замыкания точек цепи

Для расчета токов короткого замыкания (КЗ) изобразим ГПП схематично на рисунке 3.

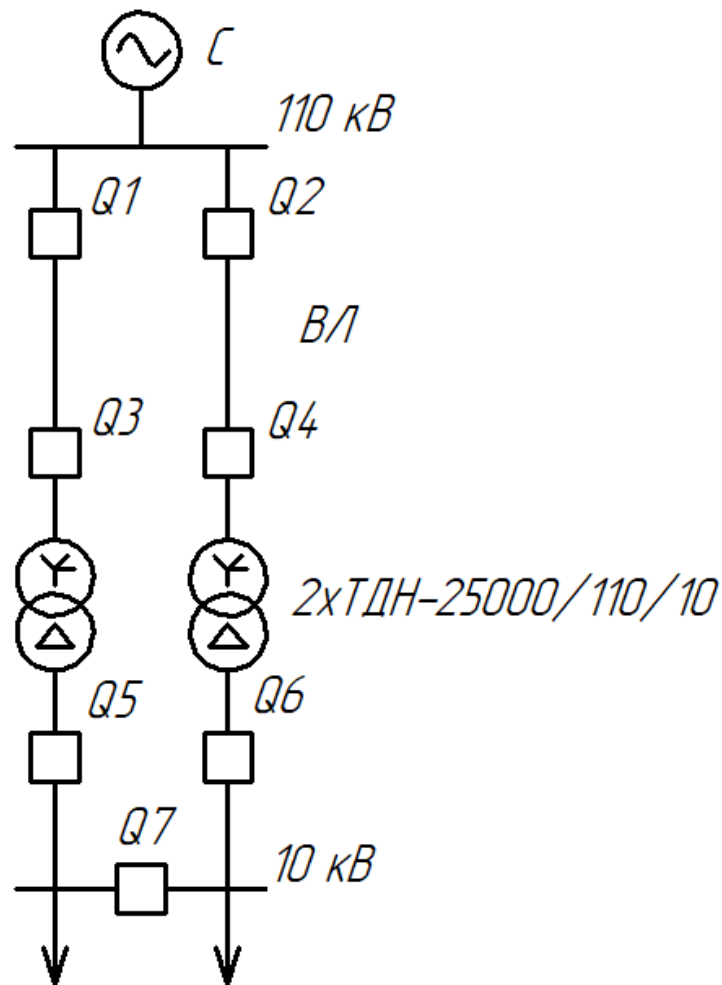


Рисунок 3 – Схема ГПП

«Мощность трехфазного КЗ сети с $S_c = 4000$ МВА. Базисное напряжение $U_6 = 10,5$ кВ, базисная мощность $S_6 = 1000$ МВА» [5]

Отразим схему замещения ГПП (рисунок 4).

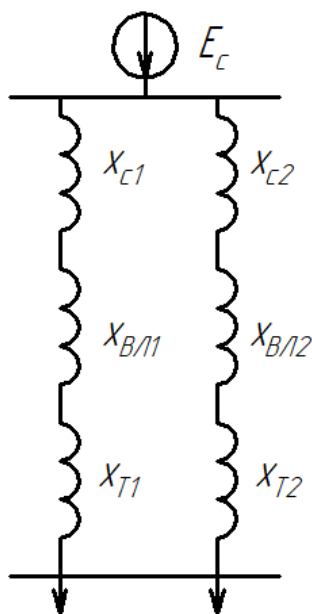


Рисунок 4 – Схема замещения

«Базисный ток ступеней напряжения 10 кВ и 110 кВ:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}, \quad (16)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА},$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}.$$

Рассчитаем полную мощность ГПП» [5]. Ход расчета представим в таблице 11.

Таблица 11 – Полная мощность ТП и ГПП и их места расположения

Параметр		ГПП	ТП-2.1	ТП-2.2, ТП-2.3	ТП-2.4, ТП-2.5	ТП-2.6- ТП-2.9	СД-2.1, СД-2.2	СД-2.3, СД-2.4	СД-2.5- СД- 2.10	АД-2.1- АД-2.5
x_i	м	247	246	425	185	326	293	293	183	183
y_i	м	267	486	390	329	187	458	458	198	197
S''_p	кВА	33019	1793	3046	3336	6444	1100	2000	13000	2300

Мощность трансформаторов ГПП с учетом перегрузки:

$$S_{\text{тр.гпп}} = \frac{S''_{\text{расч}}}{0,7 \cdot n_{\text{тр}}}, \quad (17)$$

$$S_{\text{тр.гпп}} = \frac{33019,34}{0,7 \cdot 2} = 23585 \text{ МВА.}$$

где $S''_{\text{расч}}$ – полная мощность с учетом компенсации, кВА.

$n_{\text{тр}}$ – количество трансформаторов.

«Каждый из трансформаторов ГПП подключим через провод АС150/24 длиной 17 км» [10].

Выберем для ГПП 2×ТДН-25000/110, коэффициент загрузки $k_z = 0,66$ » [2].

«Сопротивление воздушной линии (ВЛ) в Ом:

$$r_{\text{вл}} = r_{\text{уд}} \cdot l_{\text{вл}}, \quad (18)$$

$$r_{\text{вл}} = 0,206 \cdot 18 = 3,708 \text{ Ом,}$$

где $r_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

$l_{\text{вл}}$ – длина ВЛ, км.

Сопротивление ВЛ в о.е.:

$$x_{\text{бвл}} = r_{\text{вл}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{вн}}^2}, \quad (19)$$

$$x_{\text{бвл}} = 3,708 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,2804 \text{ о.е.,}$$

где $U_{\text{вн}}$ – напряжение ВЛ, кВ.

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{\text{бс}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}}, \quad (20)$$

$$x_{\text{бс}} = \frac{1000}{4000} = 0,25 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{бТ} = \frac{S_б U_k}{100 \cdot S_{тр}}, \quad (21)$$

$$x_{бТ} = \frac{1000 \cdot 10,5}{100 \cdot 25} = 4,2 \text{ о.е.},$$

где U_k – напряжение КЗ, %.

Эквивалентное сопротивление схемы:

$$x_{бэ} = \frac{x_{бс} + x_{бвл} + x_{бТ}}{2}, \quad (22)$$

$$x_{бэ} = \frac{0,25 + 0,2804 + 4,200}{2} = 2,3652 \text{ о.е.}$$

В итоге принимаем, что ЭДС $E_{вн} = E_{г} = 1,0$ о.е., $x_{вн} = 2,37$ о.е. (рисунок 5), для ЭДС двигателя – $E_{дв0} = 1,1$ о.е.» [2],[5].

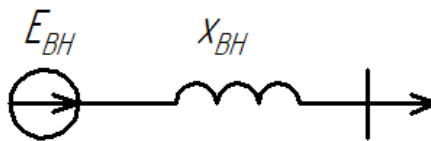


Рисунок 5 – Конечная схема замещения

«Проведем расчет сопротивления от точки КЗ до шин ТП» [2].

«Сверхпереходный ток сети внешнего электроснабжения:

$$I''_{вн} = \frac{E''_{вн} I_б}{x_{вн} + x_{доп}} = \frac{E''_{вн}}{x_{\Sigma}} \cdot I_б, \quad (23)$$

где $x_{доп}$ – сопротивление участка короткозамкнутой цепи.

Получаем $I''_{вн} = 23,25$ кА» [5].

«Эквивалентное сопротивление электродвигателей:

$$x_{дв0} = \frac{1}{\sum \frac{1}{x_{сДи}} + \sum \frac{1}{x_{аДи}}}, \quad (24)$$

$$x_{дв0} = \frac{1}{\frac{1}{92,42} + \frac{1}{53,46} + \frac{1}{7,62} + \frac{1}{94,42}} = 5,84 \text{ о.е.}$$

Сверхпереходный ток с учетом подпитки электродвигателей:

$$I''_{дв0} = \frac{E''_{дв0} I_6}{x_{дв0}}, \quad (25)$$

$$I''_{дв0} = \frac{1,1 \cdot 55}{5,84} = 10,36 \text{ кА.}$$

По итогам проведенных преобразований получаем схему с точкой КЗ между внешними сетями и электродвигателями (рисунок 6).

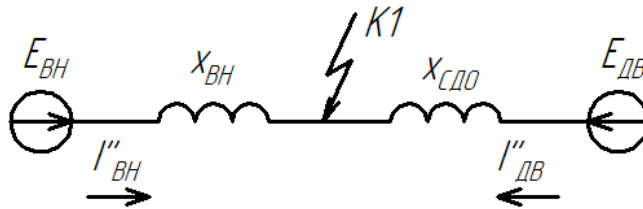


Рисунок 6 – Схема КЗ для точки К1

Сверхпереходное значение трехфазного тока КЗ:

$$I''_{К1} = I''_{ВН} + I''_{дв0}, \quad (26)$$

$$I''_{К1} = I''_{ВН} + I''_{ДВ} = 23,25 + 10,36 = 33,61 \text{ кА.}$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд} = k_{уд} \sqrt{2} I''_{ВН} + k_{уд,дв} \sqrt{2} I''_{дв0}, \quad (27)$$

$$i_{уд} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 23,25 + 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,36 = 54,86 \text{ кА,}$$

где $k_{уд}$ и $k_{уд,дв}$ – ударные коэффициенты, определяемые по расчетным кривым» [5].

«Рассчитаем КЗ в точке К2. Кабельная линия 0,55 км, с $x_{\text{КЛ1}} = 0,293$ о.е.,
 $r_{\text{КЛ1}} = 15,27$ о.е.

Ток КЗ в точке К2 равен:

$$I_{n0} = \frac{E_6}{\sqrt{x_{\text{КЛ1}}^2 + r_{\text{КЛ1}}^2}} \cdot I_6, \quad (28)$$

$$I_{n0} = \frac{1}{\sqrt{0,293^2 + 15,27^2}} \cdot 55 = 3,601 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (29)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 3,601 \cdot 1,4 = 7,639 \text{ кА.}$$

На стороне до 1 кВ при расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления элементов цепи. Выберем точки КЗ, К4» [2].

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{\text{КВ}}=0,25$ мОм, $x_{\text{КВ}}=0,1$ мОм, $r_{\text{К}}=0,1$ мОм, $r_{\text{ав}}=0,25$ мОм, $x_{\text{ав}}=0,1$ мОм» [2].

«Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_c}. \quad (30)$$

Сопротивления трансформатора:

$$r_T = \frac{P_K \cdot U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{ТР}}^2} \cdot 10^6, \quad (31)$$

$$x_T = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_K}{S_{\text{ТР}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{ТР}}} \cdot 10^4 \text{Ю} \quad (32)$$

Сопротивление цепи до точки КЗ:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ2}} + r_{\text{Т}} + r_{\text{К}} + r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}}, \quad (33)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ2}} + x_{\text{Т}} + x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_{\text{с}}, \quad (34)$$

где $x_{\text{КЛ2}}$ и $r_{\text{КЛ2}}$ – сопротивления кабельной линии» [2],[22].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей:

$$I_{n0} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм2}}^2 + x_{\text{сумм2}}^2)}}. \quad (35)$$

Угол сдвига по фазе:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{x_{\text{сумм2}}}{r_{\text{сумм2}}} \right). \quad (36)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi}. \quad (37)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{\text{уд}} = \left(1 + \sin \varphi \cdot e^{\frac{-t_{\text{уд}}}{T_{\text{а}}}} \right). \quad (38)$$

Ударный ток определяется по формуле 30 (таблица 12)» [2].

Таблица 12 – Расчет токов КЗ

Точка	Параметр	$U_{н.срi}$	S_i	l_i	$r^{*(6)}i$	$x^{*(6)}i$	I_{n0i}	T_{ai}	φ_i	$t_{удi}$	$K_{удi}$	$i_{удi}$
		кВ	МВА	м	о.е.	о.е.	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	—	кА
К-1	Система	115	5000	—	0,004	0,200	—	—	—	—	—	—
	ВЛ СЭС-ГПП	115	—	17000	0,097	0,386	—	—	—	—	—	—
	Итого	115	—	—	0,101	0,586	8,44	294,08	1,40	9,46	1,95	23,28
К-2	Приведенное	10,5	—	—	0,842	4,885	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор	115/10,5	25	—	0,005	0,072	—	—	—	—	—	—
	Итого	10,5	—	—	0,847	4,957	10,93	296,64	1,40	9,46	1,95	30,14
К-3	КЛ от ГПП до ТП	10,5	—	307	83,537	20,884	—	—	—	—	—	—
	ТТ	10,5	—	—	0,360	0,210	—	—	—	—	—	—
	Контакты	10,5	—	—	15,100	—	—	—	—	—	—	—
	Катушки выключателей	10,5	—	—	0,061	0,046	—	—	—	—	—	—
	Итого	10,5	—	—	99,058	21,140	0,54	10,82	0,21	5,67	1,12	0,86
К-4	КЛ от системы до ГПП	10,5	—	79	28,662	7,166	—	—	—	—	—	—
	ТТ	10,5	—	—	0,360	0,210	—	—	—	—	—	—
	Контакты	10,5	—	—	15,100	—	—	—	—	—	—	—
	Катушки выключателей	10,5	—	—	0,061	0,046	—	—	—	—	—	—
	Итого	10,5	—	—	44,183	7,422	1,23	8,51	0,17	5,54	1,09	1,90

Проведем выбор силового электрооборудования по полученным значениям токов КЗ.

3.2 Выбор силового электрооборудования

Проведем проверку оборудования ТП 2×1250/10/0,4 по каталогам производителей (таблица 13) [1],[15],[21].

«Ток термической стойкости точки КЗ:

$$B_{kt} = I_{n0}^2 (T_a + t_{п.в.}), \quad (39)$$
$$B_{kt} = 10,93^2 \cdot (296,64 + 30) \cdot 10^{-3} = 39,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Время действия релейной защиты:

$$\sigma = t_{pz} + t_{сво}, \quad (40)$$
$$\sigma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

где t_{pz} – время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [17].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ:

$$i_{a\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}}, \quad (41)$$
$$i_{a\sigma} = \sqrt{2} \cdot 10,93 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{296,64}} = 0,16 \text{ кА}.$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot I_{\mu} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \sigma}), \quad (42)$$
$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 77,78 \text{ кА},$$

где I_{μ} – ток отключения выключателя, кА» [17].

Таблица 13 – Проверка параметров оборудования

Параметр точки		К-1	К-2	К-3	К-4
I_{n0}	кА	8,44	10,93	0,54	1,23
$i_{уд}$		23,38	30,14	0,86	1,90
B_{kt}	кА ² с	23,09	39,02	0,01	0,06
$i_{ас}$	кА	0,12	0,16	0,76	1,73
I_{μ}		55	55	40	40
$i_{ан}$		77,78	77,78	56,57	56,57
I_p	А	131	131	72	72
Выключатель		ВГТ-110/2000		ВБЭ-10/40/2000	
Разъединитель		РГП-110/2000		РВЗ-10/2000/III	
Трансформатор тока		ТОГФ-110/400		ТЛО-10/2000/М1	

Выводы по разделу.

В процессе расчетов принято и проверено оборудование ТП и ГПП. Оборудование успешно прошло необходимые проверки.

4 Расчет заземления и молниезащиты

Проведем расчет молниезащиты для ГПП.

«Активная высота молниеотвода:

$$\begin{aligned}h_A &= h - h_x, \\h_A &= 30 - 10 = 20,\end{aligned}\tag{43}$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [14].

«Зона защиты молниеотвода:

$$\begin{aligned}r_x &= h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A}, \\r_x &= 20 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 10/20} = 21 \text{ м.}\end{aligned}\tag{44}$$

Наибольшая сторона зоны защиты:

$$\begin{aligned}h_0 &= h - \frac{a}{7}, \\h_0 &= 30 - \frac{45,7}{7} = 23,47 \text{ м,}\end{aligned}\tag{45}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м» [14].

«Ширина зоны защиты:

$$\begin{aligned}b_x &= 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), \\b_x &= 3 \cdot (23,47 - 1,25 \cdot 10) = 32,91 \text{ м.}\end{aligned}\tag{46}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 7» [14].

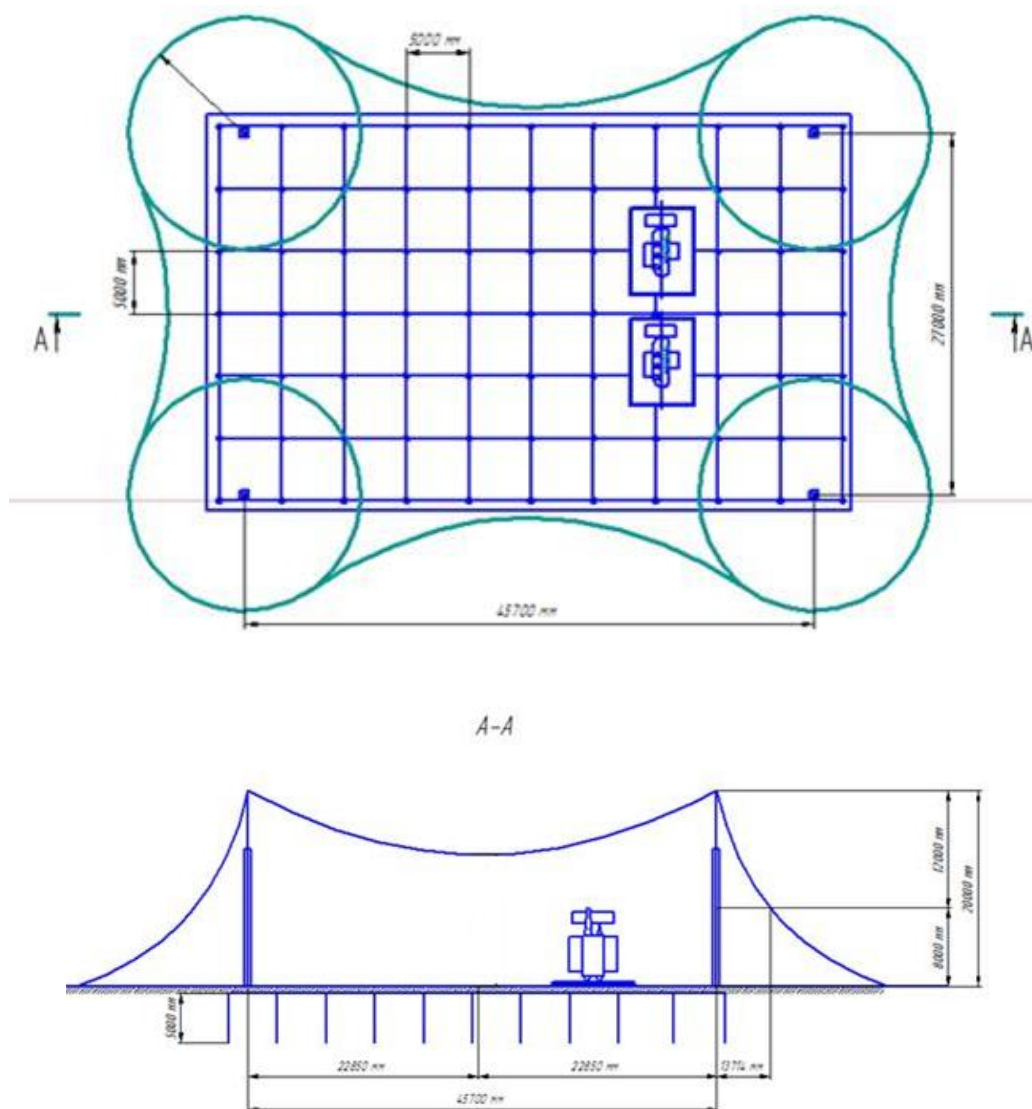


Рисунок 7 – Схема молниезащиты

«В ТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [14].

«Корпус электродвигателя или электрического аппарата, арматура электрического светильника или труба электропроводки в нормальных условиях не находятся под напряжением относительно земли, что достигается изоляцией от токоведущих частей. Однако при повреждении изоляции любая из этих частей может оказаться под напряжением, нередко равным фазному. Электродвигатель с пробитой на корпусе изоляцией часто электрически соединен с машиной, которую он приводит в движение, например, если он

установлен на станке. Рабочий, взявшийся за рукоятки управления станком, может попасть под напряжение. Чтобы уменьшить опасность поражения людей при повреждении изоляции токоведущих частей, принимают ряд мер. Наибольшее распространение получило защитное заземление, используемое в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В и в сетях напряжением выше 1000 В (независимо от режима работы нейтрали источника питания)» [8].

«В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать:

- проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючей жидкости, горючих или взрывчатых газов и смесей;
- обсадные трубы скважин;
- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей;
- металлические шунты гидротехнических сооружений, водоводы, затворы и т. п.;
- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле. Алюминиевые оболочки кабелей не используются в качестве естественных заземлителей. Если оболочки кабелей служат единственными заземлителями, то в расчете заземляющих устройств они должны учитываться при количестве кабелей не менее двух;
- заземлители опор воздушных линий электропередачи, соединенные с заземляющим устройством электроустановки при помощи грозозащитного троса линии, если он не изолирован от опор линии;
- нулевые провода воздушных линий электропередачи напряжением до 1000 В с повторными заземлителями при количестве линий не менее двух;
- рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами» [8].

«Для расчета заземления применим общеизвестные формулы.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{\text{в.з}} = \frac{\rho_{\text{э.г}}}{2\pi L_{\text{в.з}}} \left(\ln \frac{2L_{\text{в.з}}}{d_{\text{в.з}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{\text{в.з}} + L_{\text{в.з}}}{4 \cdot T_{\text{в.з}} - L_{\text{в.з}}} \right), \quad (47)$$

$$R_{\text{вз}} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 5,0}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4,0 \cdot 3,0 + 5,0}{4,0 \cdot 3,0 - 5,0} \right) = 15,26 \text{ Ом},$$

где $\rho_{\text{э.г}}$ – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{\text{в.з}}$ – длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{\text{в.з}}$ – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{\text{в.з}}$ – заглубление, м» [14].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{гз}} = \frac{\rho_{\text{э.г}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{гз}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гз}}^2}{b_{\text{г.з}} \cdot h_{\text{г.з}}}, \quad (48)$$

$$R_{\text{гз}} = \frac{95}{2\pi \cdot 5,0} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5,0^2}{0,04 \cdot 0,5} = 23,66 \text{ Ом},$$

где $b_{\text{г.з}}$ – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{\text{г.з}}$ – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{\text{г.з}}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [14].

«Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{\text{з.у}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{\text{ии}} n_i}{R_i}}, \quad (49)$$

$$R_{\text{з.у}} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,68}{15,26} + \frac{1 \cdot 0,68}{23,66}} = 2,11 \text{ Ом},$$

где n_i – число комплектов;

$k_{\text{ии}}$ – коэффициент использования» [14].

«Полученное сопротивление заземляющего устройства не превышает требуемое 4 Ом. Принимаем тип системы заземления в распределительных и групповых сетях – TN-S» [8].

«К частям электроустановок, подлежащим заземлению или занулению, относятся:

- корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.;
- приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного тока или более 110В постоянного тока;
- изготовленные из металла конструкции распределительных и кабельных устройств, кабельные соединительные муфты, оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, оболочки проводов, рукава и трубы электропроводки, кожухи и опасные конструкции шинопроводов, мотки, короба, струны, тросы и полости, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной и запуленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;
- металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;
- электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов» [8].

Выводы по разделу.

Рассчитанная схема заземления и молниезащиты полностью соответствует требованиям нормативных документов.

Заключение

В данной ВКР выполнен расчет системы электроснабжения завода, производство которого построено на изготовлении сельскохозяйственной техники и оборудования.

На первом этапе проанализированы исходные данные завода, включая коэффициенты мощности и использования, а также генеральный план. Далее вычислены суммарные нагрузки, что необходимо для выбора подходящих силовых трансформаторов завода по производству сельскохозяйственного оборудования. Для снижения реактивной составляющей были установлены конденсаторные батареи мощностью 600 квар в количестве 18 шт – по две на каждой ТП.

В результате расчетов было выбрано девять ТП 2×1250/10/0,4 и ГПП 2×ТДН-25000/110, места установки определены на основе расчетов ЦЭН завода.

Далее выбраны для технико-экономического сравнения радиальная и магистральная схемы питания цехов и зданий завода по производству сельскохозяйственного оборудования. Получено, что радиальная схема оказалась более выгодной как с точки зрения денежных вложений, так и надежности.

На следующем этапе был проведен расчет токов КЗ для четырех выбранных точек КЗ, где одна из точек расположена на стороне ВН – 110 кВ, а остальные на стороне НН – 10 кВ.

Силовое электрооборудование ТП и ГПП соответствует всем необходимым параметрам.

Разработан проект заземления и молниезащиты оборудования завода по производству сельскохозяйственного оборудования. Расчет молниезащиты представлен для ГПП, где показана схема с четырьмя молниеотводами. Что касается системы заземления, то сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом.

Список используемых источников

1. Вакуумные выключатели [Электронный ресурс] : Производитель и поставщик высоковольтного и низковольтного оборудования ЭТМ. URL: https://www.etm-company.ru/goods/248104399-vyklyuchatel_vakuumny_vbe_10_20_2000_statsionarnoye_ispolneniye (дата обращения: 25.03.2025).
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утвержден приказом от 21.10.1993. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/1859/> (дата обращения: 04.03.2025).
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54884/> (дата обращения: 04.03.2025).
4. ГОСТ 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/80165/> (дата обращения: 04.03.2025).
5. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : утвержден приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/925/> (дата обращения: 04.03.2025).
6. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс]: утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55477/> (дата обращения: 04.03.2025).
7. Жук В.Л. Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях : учебное пособие под ред. д.т.н., проф. А.А. Троянского. М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 212 с.

8. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 04.03.2025).

9. Каталогные данные светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт производителя светильников GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 04.03.2025).

10. Комплексные поставки кабельно-проводниковых материалов [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-kc.ru/> (дата обращения: 04.03.2025).

11. Конденсаторные установки КРМ, УКМ, АКУ, УКРМ [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ПромАвтоматика. URL: <https://www.pea.ru/docs/equipment/reactive-power-compensation/low-voltage-krm/> (дата обращения: 04.03.2025).

12. НТП ЭПП-94 Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Нормы технологического проектирования (1 редакция) принятые Тяжпромэлектропроект от 01.01.1994. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294847/4294847066.pdf> (дата обращения: 04.03.2025).

13. ОРД 14.370-36-86 Указания по проектированию электрохозяйства металлургических заводов [Электронный ресурс] : Руководящий документ введен от 01.01.1987. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293732/4293732136.htm> (дата обращения: 04.03.2025).

14. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс] : утвержден Министерство топлива и энергетики РФ от 06.10.1999. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003114?marker=7D20K3> (дата обращения: 05.03.2025).

15. Разъединитель РВЗ-10/2000/III [Электронный ресурс] : Официальный сайт производителя высоковольтного оборудования

«Высоковольтный союз». URL:
<https://www.vsoyuz.com/ru/produkcija/razediniteli/razediniteli-10-kv/disconnectors-rvz.htm> (дата обращения: 04.03.2025).

16. Расчётные формулы потерь напряжения [Электронный ресурс] : Образовательный электротехнический портал. URL:
<http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-po-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 04.03.2025).

17. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утвержден техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294847/4294847075.htm> (дата обращения: 04.03.2025).

18. Рынок сельскохозяйственной техники и его бенефициары [Электронный ресурс] : Официальный сайт АО «Газпромбанк». URL:
<https://gazprombank.investments/blog/reviews/agricultural-technology/> (дата обращения: 14.04.2025).

19. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утвержден Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL:
<https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747646.htm> (дата обращения: 04.03.2025).

20. Стоимость прокладки кабельных линий [Электронный ресурс] : ООО «СИГМА». URL: <https://sigma-nn.ru/price/prokladka-v-zemle.html?> (дата обращения: 04.03.2025).

21. Трансформаторы тока ТЛО-10-М1 [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «Электрощит-Ко». URL:
http://www.kztt.ru/catalog/transformatori_toka/tlo-10_on_3-10_kv/1/ (дата обращения: 04.03.2025).

22. Щербаков Е. Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие. Москва : Форум, 2019. 495 с.

23. A. Ameli, M. Ghafouri, H. H. Zeineldin, M. M. A. Salama, E. F. El-Saadany. Accurate Fault Diagnosis in Transformers Using an Auxiliary Current-Compensation-Based Framework for Differential Relays. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 70. 2021. p. 1-14.

24. F. R. Gadotti, S. H. L. Cabral, and F. M. Schuartz. Fast Transient Overvoltage Analysis in Current Transformers due to Disconnecter Switching Operation in 2022 7th International Advanced Research Workshop on Transformers (ARWtr). 2022. p. 58–63.

25. Liu Shengli, Wu Jun, Xue Longjiang, Wu Di, Lu Haiqing, Li Wenlong, Wang Shaofang, Li Wenqi. Research and Application of a Clear Diamond-Shaped Distribution Network Structure. Frontiers in Energy Research. Vol. 9. 2021. 10 p.

26. S.J. Babaria, D.D. Patel, N.G. Chothani, P.K. Chaini, R.M. Patel, S.R. Joshi. Influence of System Parameters on Current Transformer Saturation in Power System. IEEE 2nd international conference on sustainable energy and future electric transportation (SeFeT). 2022. 6 p.

27. Z. Tan, Z. Yang, C. Miao, G. Guo. Transformer-Based Feature Compensation and Aggregation for Deepfake Detection. IEEE Signal Processing Letters 29. 2022. p. 2183–2187.