

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Електропостачання спиртзаводу встановленою
потужністю 920 кВт.

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи ЕЕ-43

Остапюк Олександр Ростиславович

(підпис)

Керівник: к.т.н., професор

Добровольська Любов Наумівна

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт

допущено до захисту

«__» _____ р.

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент:

Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

Остапюк Олександр Ростиславович . Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт. . Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

Ціль роботи – розробити систему електропостачання та моделювання режимів роботи електродвигуна. При розробці СЕП підприємства виконувався: розрахунок електричних навантажень, визначення потужності компенсуючих пристроїв, вибір схеми живлення і розподілу електричної енергії, вибір напруги і конфігурації живлячих і розподільчих мереж, розрахунок струмів КЗ і вибір апаратури; а також вибір кількості, потужності і місця встановлення і типу підстанцій, розрахунок засобів релейного захисту і автоматики та т. ін.

Ключові слова: розрахунки, електричні навантаження, ієрархічний підхід, силові трансформатори, метод впорядкованих діаграм

Annotation

Ostapyuk Oleksandr Rostyslavovych. Power supply the distillery has an installed power of 920 kW.. Manuscript.

Qualification project of the bachelor's degree "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of five sections, a list of sources used, applications.

The purpose of the work is to develop a power supply system and simulate the operating modes of an electric motor. When developing the PSS of the enterprise, the following was carried out: calculation of electrical loads, determination of the power of compensating devices, selection of a power supply and distribution of electrical energy, selection of voltage and configuration of supply and distribution networks, calculation of short-circuit currents and selection of equipment; as well as the choice of the number, capacity and place of installation and type of substations, calculation of relay protection and automation, etc.

Keywords: calculations, electric loads, hierarchical approach, power transformers, ordered diagrams method

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ ..	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	16
2.1. Розрахунок силового електричних навантажень	16
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	19
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	20
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	21
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності	21
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	23
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП.....	23
2.8. Проєктування мережі живлення підприємства.....	24
2.9. Проєктування внутрішньої розподільної мережі.....	24
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	26
2.11. Вибір апаратури.....	26
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	26
2.11.2. Вибір роз'єднувачів	27
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	27
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху	28
2.12.1. Вибір схеми електропостачання	28
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	30
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	33
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	34
2.12.5. Вибір рубильників.....	35
2.13. Проєктування освітлювальної мережі	35
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОГО ЦЕХУ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK	37
3.1. Загальні принципи побудови імітаційної моделі електротехнічного комплексу	37
3.2. Дослідження динаміки відцентрових насосних агрегатів	38

					<i>ЛНТУ.971076.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Остапук О.Р.</i>					<i>Д</i>	<i>6</i>	<i>41</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Добровольська ЛН</i>					<i>ФАБЕ, зр ЕЕ-43</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н.контр</i>	<i>Ващелюк Ю.І.</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Волинець В.І.</i>							

3.3. Моделювання роботи поршневого компресора пневмоавтоматики в умовах пульсуючого навантаження.....	39
---	----

РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ (САПР)	42
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	43
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	45
ДОДАТКИ	47
Додаток А Використані методики	47
Додаток Б Специфікації та переліки посилань	75

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Спиртова промисловість є однією з енергоємних галузей харчового сектору, що вимагає підтримки безперервного технологічного циклу для виробництва високоякісного етилового спирту. Проектоване підприємство територіально розташоване у Волинській області, поблизу міста Луцьк, що зумовлює обов'язкове врахування місцевих кліматичних умов під час вибору зовнішнього електрообладнання, розрахунку теплових режимів трансформаторних підстанцій та проектування систем блискавкозахисту. Характерною особливістю даного виробництва є наявність значної кількості вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зон, що накладає надзвичайно жорсткі обмеження на вибір ступеня захисту оболонок електродвигунів, пускової апаратури, освітлювальних приладів та прокладання кабельних ліній. Виробнича потужність заводу розрахована на щодобове перероблення значних обсягів зернової сировини із забезпеченням безперебійного випуску ректифікованого спирту вищого очищення. Режим роботи підприємства є безперервним, тризмінним, з робочою зміною тривалістю вісім годин протягом трьохсот тридцяти діб на рік, тоді як решта часу відводиться на проведення планово-попереджувальних ремонтів та профілактичне обслуговування силового енергетичного обладнання. Більшість споживачів електричної енергії спиртзаводу відносяться до другої категорії надійності електропостачання, оскільки перерва в їх живленні призводить до масового недовипуску продукції, порушення складного фізико-хімічного процесу та тривалого простоювання механізмів. Окремі критичні вузли, пов'язані з протиаварійною автоматикою, пожежною сигналізацією, аварійною вентиляцією та системами охолодження конденсаторів, належать до першої категорії надійності та потребують безумовного резервування живлення від незалежного джерела або пристроїв безперебійного живлення....

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Виробнича інфраструктура спиртзаводу являє собою надзвичайно складний технологічний комплекс, що складається з низки взаємопов'язаних виробничих і допоміжних підрозділів. Головною ланкою формування кінцевого продукту є брагоректифікаційний цех, де відбувається найбільш енергоємний і критичний етап дистиляції та багатоступеневої ректифікації спирту з дозрілої браги. У цьому підрозділі зосереджено масивне теплообмінне обладнання, конденсатори, дефлегматори та потужні перекачувальні відцентрові насоси, які забезпечують безперервну циркуляцію легкозаймистих рідин під високим тиском. Електрообладнання даного цеху працює в умовах підвищеної вологості та наявності вибухонебезпечних концентрацій парів етилового спирту, що вимагає іскробезпечного виконання всіх електричних кіл та суворого дотримання норм вибухозахисту. Початкова підготовка сировини здійснюється у варильному відділенні, куди безперервно надходить подрібнене зерно для змішування з підготовленою водою та подальшої інтенсивної водно-теплової обробки. Тут встановлені потужні промислові змішувачі, варильні колони та парогенератори, які розварюють крохмалевмісну сировину для її подальшого ферментативного оцукрювання. Електроприводи варильного відділення характеризуються тривалим безперервним режимом роботи з практично постійним механічним навантаженням на валу. Далі підготовлене і охолоджене сусло перекачується до дріжджового бродильного відділення, де відбувається ключовий біологічний процес ферментації. Це просторе приміщення оснащено величезними бродильними чанами, тихохідними мішалками для підтримки гомогенності маси та спеціалізованими системами охолодження, оскільки процес бродіння супроводжується значним екзотермічним виділенням тепла. Надійне електропостачання насосів охолоджувального контуру є критично важливим для стабілізації температури та запобігання загибелі чутливих

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Остапук О.Р.				Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Добровольська Л.Н.					Д	9	7
Реценз.						ФАБЕ, гр ЕЕ-43		
Н.контр	Ващелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

дріжджових культур. Побічним продуктом роботи брагоректифікації є зернова барда, яка системою трубопроводів направляється у відділення переробки барди для її механічного згущення та термічного висушування. Це відділення виконує вкрай важливу екологічну та економічну функцію, перетворюючи рідкі відходи на суху цінну кормову добавку для тваринництва. Високонапірні промислові центрифуги, шнекові декантери та масивні сушильні барабани цього цеху створюють значне силове навантаження на цехову трансформаторну підстанцію. Безперебійне постачання та зберігання зернової сировини забезпечується функціонуванням великого зерносховища з елеватором, яке представляє собою комплекс залізобетонних силосів, густо оснащених вертикальними норіями, стрічковими та скребковими конвеєрами, а також потужними промисловими аспіраційними установками. Електроприводи механізмів елеватора відрізняються частими важкими пусками під навантаженням та наявністю значної кількості дрібнодисперсного пилу в навколишньому повітрі, що зумовлює категоричну необхідність використання двигунів із підвищеним ступенем пиловологозахисту. Необхідна технологічна теплова енергія у вигляді насиченої пари безперервно генерується в промисловій котельні підприємства, яка є справжнім серцем теплового балансу всього заводу. Живильні водяні насоси, витяжні димососи та дуттьові вентилятори котельні споживають вагомую частку загальної електроенергії і вимагають резервованого живлення для уникнення аварійної зупинки парогенерації, що неминуче призвело б до швидкого паралічу всіх термічних процесів підприємства. Нарешті, водозабезпечення усіх виробничих потреб, підживлення систем охолодження та функціонування установок пожежогасіння повністю покладено на насосну станцію водопостачання. Тут у цілодобовому режимі працюють потужні мережеві та глибинні артезіанські насоси, які автоматично підтримують стабільний тиск у розгалужених гідромагістралях заводу, забезпечуючи повноцінну життєдіяльність як основного технологічного обладнання, так і допоміжних санітарно-технічних систем підприємства.

Усі перелічені виробничі підрозділи об'єднані єдиною оптимізованою системою внутрішньозаводських інженерних мереж, серед яких силові та контрольні

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

електричні комунікації відіграють провідну роль. Архітектурно-планувальні рішення заводу передбачають раціональне розташування найбільш енергоємних підрозділів у безпосередній близькості до визначених центрів електричних навантажень. Такий інженерний підхід дозволяє суттєво знизити технічні втрати електроенергії в лініях живлення, зменшити витрати провідникових матеріалів та оптимізувати перерізи струмопровідних жил силових кабелів.

Таблиця 1.1 - Характеристики об'єктів в таблиці

Назва	S, m^2	$P_{вст\Sigma}, кВт$
Брагоректифікаційний цех	1536	244,5
Варильне відділення	1008	175,5
Дріжджове бродильне відділення	1008	163
Відділення переробки барди	1008	155
Зерносховище з елеватором	864	51
Котельня	864	62
Насосна станція водопостачання	576	69
Всього	6864	920

Технологічний процес у брагоректифікаційному цеху є найбільш складним, енергоємним та відповідальним етапом усього спиртового виробництва, що вимагає прецизійного дотримання теплових, гідродинамічних та масообмінних режимів для забезпечення максимального виходу етилового спирту найвищого ступеня очищення. Серцем цього промислового підрозділу є багатоколонна брагоректифікаційна установка безперервної дії, яка здійснює послідовне і глибоке виділення летких компонентів із дозрілої браги шляхом її багаторазового випаровування та наступної конденсації на масообмінних тарілках. Весь виробничий цикл розпочинається з безперервного, ритмічного транспортування визрілої браги з ємностей дріжджового бродильного відділення безпосередньо до підігрівача бражної колони. Цю критично важливу функцію стабільного живлення тепломасообмінної установки сировиною виконує надійний відцентровий насос подачі браги, який успішно долає значний гідравлічний опір трубного простору теплообмінного апарату та підтримує постійний

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

надлишковий тиск на вході в систему, що є фундаментальною запорукою стабільності всього подальшого процесу дистиляції. Безпосередньо у самій бражній колоні під дією гострої насиченої пари відбувається інтенсивне виділення етилового спирту разом із супутніми леткими домішками з утворенням бражного дистиляту та одночасним відведенням збідненої на спирт гарячої рідини, тобто барди. Отриманий водно-спиртовий пар під тиском направляється до епюраційної колони, де відбувається тонкий фізико-хімічний процес очищення дистиляту від головних домішок, таких як різноманітні альдегіди та ефіри, які мають значно нижчу температуру кипіння, ніж цільовий етиловий спирт. Для підтримки оптимального гідродинамічного навантаження та забезпечення необхідного флегмового числа по всій висоті епюраційної колони застосовується спеціалізований хімічний насос рециркуляції епюрату, який безперервно повертає частину сконденсованої рідини назад у верхню зону колони, створюючи ідеальні умови для протікання масообміну між зустрічними потоками рідкої та парової фаз. Звільнений від найбільш летких головних фракцій епюрат самопливом або під надлишковим тиском перетікає до основної ректифікаційної колони, де власне і відбувається кінцеве концентрування етилового спирту до стандартної міцності понад дев'яносто шість відсотків та його повне звільнення від важких хвостових домішок. У самій нижній частині, так званому кубі ректифікаційної колони, поступово накопичується лютерна вода, яка є безпечним побічним продуктом ректифікації і практично не містить етилового спирту. Для постійного відведення цієї відпрацьованої рідини з куба колони, запобігання небезпечному переповненню апарату та підтримки суворого теплового балансу системи використовується потужний насос відкачування лютера, який спрямовує гарячу воду до пластинчастих теплообмінників для корисної рекуперації тепла у виробничому циклі. У процесі високоточної ректифікації надзвичайно важливу роль відіграє процес дефлегмації, під час якого значна частина сконденсованих парів чистого спирту примусово повертається назад у колону для рясного зрошення її масообмінних тарілок.

Відцентровий насос подачі флегми забезпечує цей життєво необхідний безперервний потік рідини під точно заданим напором, що гарантує високу роздільну

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатність системи та безперебійне отримання спирту-ректифікату найвищого стандарту якості, який відповідає всім харчовим та фармакопейним нормам.

Враховуючи високу вибухопожежонебезпечну специфіку спиртового виробництва та ймовірні неконтрольовані витоки парів етанолу через можливі нещільності запірно-регулюючої арматури або фланцевих з'єднань, усе приміщення брагоректифікаційного цеху обов'язково обладнане високопродуктивною системою штучного повітрообміну. Вентилятор припливно-витяжної установки відіграє критично важливу роль у комплексному забезпеченні техногенної безпеки експлуатаційного персоналу та електричного обладнання, безперервно видаляючи забруднене, потенційно вибухонебезпечне повітря з робочої зони цеху та миттєво заміщуючи його свіжим очищеним повітрям із зовнішнього середовища, таким чином беззаперечно гарантуючи підтримання концентрації шлейфу парів спирту на рівні, що знаходиться значно нижче нижньої концентраційної межі займання. Одночасно з ефективним виділенням цільового продукту в середній частині ректифікаційної колони відбувається закономірна концентрація вищих спиртів та інших специфічних сполук, що утворюють так зване сивушне масло. Для його обережної екстракції та подальшого спрямування на ділянку промивання використовується герметичний насос відбору сивушних масел, який надзвичайно точно дозує відведення цієї в'язкої фракції з відповідних тарілок колони, повністю запобігаючи її небажаному потраплянню у товарний харчовий спирт та забезпечуючи стабільну роботу додаткової лінії випуску цінної супутньої хімічної продукції. Високонадійне автоматизоване управління всіма складними матеріальними потоками, температурними режимами та робочим тиском у теплообмінних апаратах здійснюється за допомогою розвиненої розгалуженої системи пневматичних регулювальних клапанів та мембранних виконавчих механізмів. Промисловий компресор пневмоавтоматики забезпечує безперервну генерацію та ретельну підготовку стисненого повітря найвищого ступеня механічного очищення та глибокого осушення, яке виступає основним надійним енергоносієм для всіх без винятку засобів автоматизації цеху, гарантуючи миттєву, плавну та абсолютно безвідмовну реакцію інтелектуальної керуючої арматури на керівні електричні

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигнали центральної мікропроцесорної системи управління підприємством. Абсолютно всі термодинамічні процеси конденсації гарячих парів спирту в масивних дефлегматорах та поверхневих конденсаторах вимагають підведення колосальної кількості промислового холоду. Високонапірний мережевий насос подачі охолоджуючої води здійснює безперервну примусову циркуляцію підготовленої технічної води від зовнішніх вентиляторних градирень безпосередньо до теплообмінного обладнання цеху, ефективно відводячи величезну кількість надлишкового тепла від технологічного процесу та прецизійно підтримуючи суворо задані температури конденсації, що має прямий та вирішальний вплив на кінцеву міцність, прозорість та органолептичну чистоту цільового продукту. Нарешті, отриманий на виході з установки високоякісний етиловий спирт-ректифікат самопливом надходить до спеціальних проміжних металевих контрольних ємностей для точного комерційного обліку та наступної суворої паспортизації.

Таблиця 1.2 – Перелік обладнання

Назва	n	$P_{\text{вст}}$
Насос подачі браги (СМ 100-65-200/2)	2	15
Насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200)	3	11
Насос відкачування лютера (Х 80-50-200)	3	18,5
Насос подачі флегми (АХ 50-32-160)	3	11
Вентилятор припливно-витяжної установки (ВЦ 4-75 №6.3)	2	11
Насос відбору сивушних масел (ВКС 2/26)	1	12
Компресор пневмоавтоматики (ПК-5.25)	1	22
Насос подачі охолоджуючої води (Д 200-36)	1	22
Мішалка збірника спирту (МР-15)	1	15

Для забезпечення ідеальної та абсолютної однорідності готового продукту перед відповідальним відбором репрезентативних проб на детальний лабораторний аналіз, оператором періодично вмикається тихохідна лопатева мішалка збірника спирту, яка надзвичайно м'яко, але ефективно перемішує весь наявний об'єм леткої рідини в закритому резервуарі, надійно виключаючи будь-яке фізичне розшарування

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукту за його густиною або температурою та стовідсотково гарантуючи високу достовірність результатів хроматографічного контролю безпосередньо перед дозволом на відвантаження готової партії до головного спиртосховища підприємства.

Електропостачання підприємства здійснюється від шин напругою 10 кВ існуючої ТП-10/0,4 кВ, відстань до якої становить 0,65 км. Потужність КЗ на шинах джерела живлення дорівнює 80 МВА.

Реактивна потужність, дозволена енергосистемою, становить 150 кВАр
Загальна територія підприємства становить 43000 м², площа будівель складає 6864 м

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Остапюк О.Р.				Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Добровольська Л.Н.					Д	16	21
Реценз.						ФАБЕ, гр ЕЕ-43		
Н.контр	Вашелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Група Б	Насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200)	11	1	11	0,4	0,84	0,65	2,00	6	1,64	4,40	2,84	66,29	23,56
	Насос відбору сивушних масел (ВКС 2/26)	12	1	12	0,6	0,83	0,67				7,20	4,84		
	Насос відкачування лютера (Х 80-50-200)	18, 5	1	18,5	0,45	0,88	0,54				8,33	4,49		
	Насос подачі флегми (АХ 50-32-160)	11	1	11	0,4	0,84	0,65				4,40	2,84		
	Компресор пневмоавтоматики (ПК-5.25)	22	1	22	0,3	0,89	0,51				6,60	3,38		
	Насос подачі охолоджуючої води (Д 200-36)	22	1	22	0,3	0,89	0,51				6,60	3,38		
	Мішалка збірника спирту (МР-15)	15	1	15	0,2	0,86	0,59				3,00	1,78		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження													
	Вентилятор припливно- витяжної установки (ВЦ 4-75 №6.3)	11	1	11	0,82	0,85	0,75				9,02	6,77	9,02	6,77
	всього Б		8	122,5							49,55	30,32	75,31	30,32
	ВСЬОГО по цеху		17	244,5							107,82	65,1	158,5	65,17

Результати розрахунків силового навантаження по підприємству в цілому зведемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків

Назва	P_H кВт	$P_{сер.зм}$ кВт	$Q_{сер.зм}$ кВАр	$S_{сер.зм}$ кВА	P_p кВт	Q_p кВАр	S_p кВА
Брагоректифікаційний цех	244,50	107,82	65,17	125,98	158,51	65,17	171,39
РП 1	122,00	58,27	34,85	67,89	83,19	34,85	90,20
РП 2	122,50	49,55	30,32	58,09	75,31	30,32	81,19
Варильне відділення	175,50	122,85	81,08	147,19	159,71	89,19	182,92
РП 1	91,26	63,88	42,16	76,54	83,05	46,38	95,12
РП 2	84,24	58,97	38,92	70,65	76,66	42,81	87,80
Відділення переробки барди	163,00	114,10	75,31	136,71	178,00	82,84	196,33
РП 1	84,76	59,33	39,16	71,09	92,56	43,08	102,09
РП 2	78,24	54,77	36,15	65,62	85,44	39,76	94,24
Дріжджове бродильне відділення	155,00	108,50	71,61	130,00	169,26	78,77	186,69
РП 1	80,60	56,42	37,24	67,60	88,02	40,96	97,08
РП 2	74,40	52,08	34,37	62,40	81,24	37,81	89,61
Зернохвище з елеватором	51,00	40,80	54,26	67,89	63,65	59,69	87,26
РП 1	26,52	21,22	28,22	35,30	33,10	31,04	45,37
РП 2	24,48	19,58	26,05	32,59	30,55	28,65	41,88
Котельня	62,00	49,60	65,97	82,53	77,38	72,56	106,08
РП 1	32,24	25,79	34,30	42,92	40,24	37,73	55,16
РП 2	29,76	23,81	31,66	39,62	37,14	34,83	50,92
Насосна станція водопостачання	69,00	55,20	73,42	91,85	66,24	80,76	104,45
РП 1	35,88	28,70	38,18	47,76	34,44	41,99	54,31
РП 2	33,12	26,50	35,24	44,09	31,80	38,76	50,14
Всього	920,00	598,87	486,81	771,77	872,73	528,98	1035,11

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Результати розрахунку зведемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 -Результати розрахунків

Назва об'єкта	$F, \text{м}^2$	$h, \text{м}$	$P_{\text{норм}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_o, \text{кВт}$	$K_{\text{пра}}$	K_n	$\cos \varphi$	$P_{p.o}, \text{кВт}$	$Q_{p.o}, \text{квар}$
Брагоректифікаційний цех	1536	6	11	16,90	1	0,85	0,95	14,36	4,72
Варильне відділення	1008	4	11	11,09	1	0,8	0,95	8,87	2,92
Дріжджове бродильне відділення	1008	4	10	10,08	1	0,85	0,95	8,57	2,82
Відділення переробки барди	1008	4	8,1	8,16	1	0,8	0,95	6,53	2,15
Зернохосовище з елеватором	864	8	10	8,64	1	0,6	0,95	5,18	1,70
Котельня	864	3	9	7,78	1	0,6	0,95	4,67	1,53
Насосна станція водопостачання	576	3	8,1	4,67	1	0,6	0,95	2,80	0,92
Зовнішнє	43000		0,12	5,16	0,95	1	0,95	5,16	1,70
Всього	6864			72,47				56,14	18,45

2.3. Визначення результуючих навантажень

Результати розрахунків $P_{вст\Sigma}$ зведемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 -Результати розрахунків

Назва об'єкта		$P_{вст\Sigma}, \text{кВт}$	$P_{ср.зм\Sigma}, \text{кВт}$	$Q_{ср.зм\Sigma}, \text{квар}$	$S_{ср.зм\Sigma}, \text{кВА}$	$P_{p\Sigma}, \text{кВт}$	$Q_{p\Sigma}, \text{квар}$	$S_{p\Sigma}, \text{кВА}$
Брагоректифікаційний цех	РП 1	138,90	72,63	39,57	82,71	83,19	34,85	90,20
	РП 2	122,50	49,55	30,32	58,09	89,68	35,04	96,28
	Σ	261,40	122,18	69,89	140,80	172,87	69,89	186,48
Варильне відділення	РП 1	91,26	63,88	42,16	76,54	83,05	46,38	95,12
	РП 2	95,33	67,84	41,83	79,70	85,53	45,73	96,98
	Σ	186,59	131,72	84,00	156,24	168,58	92,10	192,10
Дріжджове бродильне відділення	РП 1	84,76	59,33	39,16	71,09	92,56	43,08	102,09
	РП 2	88,32	63,34	38,96	74,36	94,01	42,58	103,20
	Σ	173,08	122,67	78,12	145,43	186,56	85,65	205,29
Відділення переробки барди	РП 1	80,60	56,42	37,24	67,60	88,02	40,96	97,08
	РП 2	82,56	58,61	36,52	69,06	87,78	39,96	96,44
	Σ	163,16	115,03	73,76	136,65	175,79	80,92	193,52
Зерносховище з елеватором	РП 1	26,52	21,22	28,22	35,30	33,10	31,04	45,37
	РП 2	33,12	24,77	27,75	37,20	35,74	30,36	46,89
	Σ	59,64	45,98	55,97	72,44	68,83	61,39	92,23
Котельня	РП 1	32,24	25,79	34,30	42,92	40,24	37,73	55,16
	РП 2	37,54	28,47	33,20	43,74	41,81	36,36	55,41
	Σ	69,78	54,27	67,50	86,61	82,04	74,10	110,55
Насосна станція водопостачання	РП 1	35,88	28,70	38,18	47,76	34,44	41,99	54,31
	РП 2	37,79	29,30	36,16	46,54	34,59	39,68	52,65
	Σ	73,67	58,00	74,34	94,29	69,04	81,68	106,95
Зовнішнє		5,16	5,16	1,70	5,43	5,16	1,70	5,43
Всього		992,47	655,01	505,27	837,88	928,87	547,43	1092,55

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 -Результати розрахунків

Назва об'єкта	x, м	y, м	$Q_{P\Sigma} \cdot x$	$Q_{P\Sigma} \cdot y$	r	α	$P_{P\Sigma} \cdot x$	$P_{P\Sigma} \cdot y$
Брагоректифікаційний цех	148	140	27598	26107	52	30	25585	24202
Варильне відділення	164	24,8	31505	4764	52	19	27646	4181
Дріжджове бродильне відділення	164	66,8	33667	13713	55	17	30596	12462
Відділення переробки барди	96	16	18578	3096	53	13	16876	2813
Зернохосовище з елеватором	70,8	131,2	6530	12101	33	27	4873	9031
Котельня	28	81,6	3095	9021	36	20	2297	6695
Насосна станція водопостачання	48,8	16	5219	1711	33	15	3369	1105
Ца	119,8	65,1						
Цр	230,5	128,8						
Всього			126193	70513			111243	60487

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності

Вибір кількості та номінальної потужності силових трансформаторів трансформаторної підстанції (ТП) здійснюється на основі розрахункових електричних навантажень споживачів з урахуванням режимів їх роботи, категорії надійності електропостачання, а також заходів з компенсації реактивної потужності. Метою такого вибору є забезпечення надійного, економічно доцільного та енергоефективного електропостачання. Результати вибору силових трансформаторів запишемо в таблицю 2.6:

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 -Результати розрахунків

Показник	І група	
	I	II
$P_{\text{ср.3м}\Sigma}, \text{кВт}$	655,01	655,01
$Q_{\text{ср.3м}\Sigma}, \text{кВАр}$	505,27	505,27
$S_{\text{ср.3м}\Sigma}, \text{кВА}$	837,88	837,88
$F, \text{м}^2$	6864	6864
Тип трансформатора	ТМГ-630	ТМГ-400
$N_{\text{min}}, \text{шт.}$	1,30	2,05
$N_{\text{опт}}, \text{шт.}$	2,0	3,0
$Q_{\text{max T}}, \text{кВАр}$	766,18	701,83
$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	0,0	0,0
K_{p1}	12	12
K_{p2}	27	27
γ	0,29	0,29
$Q_{\text{НБК2}}, \text{квар}$	139,87	157,27
$Q_{\text{НБК}}, \text{квар}$	139,87	157,3
Тип НБК	УКМ58-0.4-65/2,5	УКМ58-0.4-75/2,5
$\Delta P_X, \text{кВт}$	2,27	1,45
$\Delta P_K, \text{кВт}$	7,6	5,5
$\Delta W, \text{тис.кВт}\cdot\text{год}$	8,655	6,875
$C_e, \text{тис.грн.}$	121,169	96,253
$K, \text{тис.грн.}$	1036,224	1258,512
$З, \text{тис.грн.}$	250,697	253,567
Перевірка трансформаторів на можливість перевантаження в аварійному режимі	$1,4 \cdot 630 = 882 \text{кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,35) \cdot 837,88}{2} = 419 \text{кВА}$	

2.6. Компенсация реактивной мощности

Результаты расчетов зведемо в таблицю 2.7.

Таблица 2.7 -Результаты расчетов

Показник	Значения
$Q_{\text{ср.змс}}, \text{квар}$	505,27
$Q_{\text{емах}}, \text{квар}$	150
$Q_{\text{НБКф}}, \text{квар}$	130
$\Delta Q_{\text{T}}, \text{квар}$	33
$K_{\text{НС}}$	0,90
$Q_{\text{M1}}, \text{квар}$	454,74
$Q_{\text{K1}}, \text{квар}$	304,74
$Q_{\text{НСТ}}, \text{квар}$	441,27
$Q_{\text{ВБК}}, \text{квар}$	240,74
Тип НБК	УКМ58-0.4-190/2,5

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

Результаты расчетов електричних навантажень на вищих рівнях СЕП зведемо в таблицю 2.8

Таблица 2.8 - Результаты расчетов

Розрахункове навантаження	Значения
$P_{\text{ср.змс}} \text{кВт}$	655,01
$Q_{\text{ср.змс}} \text{квар}$	505,27
$Q_{\text{НБК}} \text{квар}$	380
$P_{\text{p3}} \text{кВт}$	655,01
$Q_{\text{p3}} \text{квар}$	125,27
$S_{\text{p3}} \text{кВА}$	666,88
$\Delta P_{\text{T}} \text{кВт}$	13,34
$\Delta Q_{\text{T}} \text{квар}$	66,69
$P_{\text{p4}} \text{кВт}$	668,34
$Q_{\text{p4}} \text{квар}$	191,95
$S_{\text{p4}} \text{кВА}$	695,36

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Результати розрахунків живлячих ліній АПвЕгаПу-10 (Одескабель)зведемо в таблицю 2.9

Таблиця 2.9 - Результати розрахунків

$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{Пав}}, \%$	$K_{\text{ЗЛ}}$	$\Delta P_{\text{Н}}, \text{кВт}$	$\Delta P_{\text{Д}}, \text{кВт}$	$C_e, \text{тис. грн.}$	$З, \text{тис. грн.}$	$K, \text{тис. грн.}$
35	115	118,45	0,89	0,095	17,38	0,17	0,35	0,169	24,35	0,699304	11,9961	89,996	624
50	140	144,2	0,63	0,09	12,61	0,13	0,25	0,169	24,35	0,699304	11,9961	126,304	942,5
70	165	169,95	0,45	0,086	9,30	0,09	0,19	0,139	25,54	0,495013	8,49165	142,890	1094,6
95	205	211,15	0,33	0,083	7,09	0,07	0,14	0,118	25,34	0,353581	6,06546	161,748	1258,4
120	216	222,48	0,258	0,081	5,76	0,06	0,12	0,095	28,69	0,259293	4,44800	190,353	1495
150	246	253,38	0,206	0,79	14,44	0,14	0,29	0,090	24,90	0,20272	3,47753	227,027	1794
185	275	283,25	0,167	0,077	4,06	0,04	0,08	0,071	26,13	0,131218	2,25096	265,501	2106
240	314	323,42	0,115	0,075	3,10	0,03	0,06	0,062	23,46	0,09036	1,55006	323,300	2574

Обераємо АПвЕгаПу-10 (Одескабель) 3х35

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Вибір ліній схем внутрішнього електропостачання кабелем ВББШв (ЗЗКМ) та ПР11-3085/1 (ВП ЕЛЕКТРОСЕРВІС) проведемо в таблиці 2.10 та 2.11

Таблиця 2.10 - Результати розрахунків

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma}, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$I_{n.ав}, \text{А}$	$l, \text{км}$	S	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$I''_{\text{доп}}, \text{А}$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{нор}}, \%$	$\Delta U_{\text{Пав}}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП-РП1.1	2	90,20	68,52	137,04	0,138	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,94	5,88
ТП-РП1.2	2	96,28	73,14	146,28	0,144	25	150	155	162	0,800	0,0700	3,27	6,55
ТП-РП2.1	2	95,12	72,26	144,52	0,12	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,70	5,39
ТП-РП2.2	2	96,98	73,68	147,35	0,12	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,75	5,50
ТП-РП3.1	2	102,09	77,56	155,11	0,144	25	150	155	162	0,800	0,0700	3,47	6,94

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП-РП3.2	2	103,20	78,40	156,79	0,09	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,19	4,39
ТП-РП4.1	2	97,08	73,75	147,50	0,108	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,48	4,95
ТП-РП4.2	2	96,44	73,27	146,53	0,114	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,60	5,19
ТП-РП5.1	2	45,37	34,47	68,94	0,138	10	85	88	91,8	2,000	0,0700	3,56	7,12
ТП-РП5.2	2	46,89	35,62	71,24	0,096	10	85	88	91,8	2,000	0,0700	2,56	5,12
ТП-РП6.1	2	55,16	41,90	83,81	0,126	10	85	88	91,8	2,000	0,0700	3,95	7,90
ТП-РП6.2	2	55,41	42,09	84,18	0,15	10	85	88	91,8	2,000	0,0700	4,73	9,45
ТП-РП7.1	2	54,31	41,26	82,52	0,09	10	85	88	91,8	2,000	0,0700	2,78	5,56
ТП-РП7.2	2	52,65	39,99	79,99	0,132	10	85	88	91,8	2,000	0,0700	3,95	7,90

Таблиця 2.11 - Результати розрахунків

Назва	$S_{p\Sigma}$, κBA	I_p , A	$I_{дон}$, A
Брагоректифікаційний цех	90,20	68,52	250
	96,28	73,14	250
Варильне відділення	95,12	72,26	250
	96,98	73,68	250
Дріжджове бродильне відділення	102,09	77,56	250
	103,20	78,40	250
Відділення переробки барди	97,08	73,75	250
	96,44	73,27	250
Зерносховище з елеватором	45,37	34,47	250
	46,89	35,62	250
Котельня	55,16	41,90	250
	55,41	42,09	250
Насосна станція водопостачання	54,31	41,26	250
	52,65	39,99	250

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

$S_{кз} = .80$ МВА . Результати розрахунків запишемо в таблицю 2.12

Таблиця 2.12 - Результати розрахунків

Показник	Значення
$S_{кз}$ МВА	80
$\dot{X}_{C*}$	1,250
$\dot{X}_{КЛ1*}, \dot{X}_{КЛ2*}$	0,056
$\dot{X}_{КЛ12*}$	0,028
$\dot{X}_{рез*}$	1,278
I_6 кА	5,50
I_{n0} кА	4,302
k_y	1,4
i_y кА	8,518
$K_T \frac{A \cdot c^{1/2}}{MM^2}$	118
t_n с	0,25
F_{min} мм ²	18,2
B_K кА ² ·с	4,63

2.11. Вибір апаратури

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

На стороні ТП 10 кВ застосовано камери КСО-399 (ТОВ «Електросервіс») з вимикачами навантаження ВНА-10/630 (УкрЕлектро) . Для резервування високовольтної частини прийнято шинний міст ШМР-1. Результати перевірки зводимо в таблицю 2.13. Розподільний вузол 0,4 кВ виконаний у вигляді двох збірних шин з панелями ЩО-16 (ТОВ «ЕТК» (Електротехнічна компанія)).

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.13 - Результати розрахунків

показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{норм}, \text{А}$	20,07
$I_{max}, \text{А}$	40,15
$i_y, \text{кА}$	8,518
$I_{n0} \text{кА}$	4,63

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Приймаємо роз'єднувачі обладнані заземлюючими ножами РВЗ-10/630 УХЛ2 (УкрЕлектро). зведемо в таблицю 2.14

Таблиця 2.14 - Результати розрахунків

показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{норм}, \text{А}$	20,07
$I_{max}, \text{А}$	40,15
$i_y, \text{кА}$	8,518
$I_{n0} \text{кА}$	4,302
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	4,63

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Результати перевірки вимикачів навантаження типу ВНА(п) 10/630 (Славгор Енерго) та запобіжника ПКТ 113-10-80 (Кварц) таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 - Результати розрахунків

показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{норм}, \text{А}$	20,07
$I_{max}, \text{А}$	40,15
$i_y, \text{кА}$	8,518
$I_{n0} \text{кА}$	4,302
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	4,63

Таблиця 2.16 - Результати розрахунків

Показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{max}, \text{А}$	40,15
$I_{n0} \text{кА}$	4,302
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	4,63

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Результати вибору кабелів брагоректифікаційного цеху зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 - Результати розрахунків

Назва електроприймача	$P_H, \text{кВт}$	$\cos \varphi$	$I, \text{А}$	$F, \text{мм}^2$	$I_{тр.доп}, \text{А}$	Кабель
1	2	3	4	5	6	7
Група А						
Насос подачі браги (СМ 100-65-200/2)	15	0,86	26,50	4	37	ВВГнгд-4х4
Насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200)	11	0,84	19,90	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5
Насос відкачування лютера (Х 80-50-200)	18,5	0,88	31,94	4	37	ВВГнгд-4х4
Насос подачі флегми (АХ 50-32-160)	11	0,84	19,90	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5
Вентилятор припливно-витяжної установки (ВЦ 4-75 №6.3)	11	0,85	19,66	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5
Група Б						
Насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200)	11	0,84	19,90	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5
Насос відбору сивушних масел (ВКС 2/26)	12	0,83	21,97	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5
Насос відкачування лютера (Х 80-50-200)	18,5	0,88	31,94	4	37	ВВГнгд-4х4
Насос подачі флегми (АХ 50-32-160)	11	0,84	19,90	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5
Компресор пневмоавтоматики (ПК-5.25)	22	0,89	37,56	6	49	ВВГнгд-4х6
Насос подачі охолоджуючої води (Д 200-36)	22	0,89	37,56	6	49	ВВГнгд-4х6
Мішалка збірника спирту (МР-15)	15	0,86	26,50	4	37	ВВГнгд-4х4
Вентилятор припливно-витяжної установки (ВЦ 4-75 №6.3)	11	0,85	19,66	2,5	28	ВВГнгд-4х2,5

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Результати перевірки кабелів за втратами напруги зведемо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 - Результати розрахунків

Назва електроприймача	n	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l, км	ΔU%	Кабель
Група А						
Насос подачі браги (СМ 100-65-200/2)	2	5	0,09	0,212	11,129	ВВГнгд-4х4
				0,218	11,444	ВВГнгд-4х4
				0,2	10,499	ВВГнгд-4х4
Насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200)	2	8	0,09	0,23	14,118	ВВГнгд-4х2,5
				0,236	14,487	ВВГнгд-4х2,5
				0,2	12,277	ВВГнгд-4х2,5
Насос відкачування лютера (Х 80-50-200)	2	5	0,09	0,246	15,911	ВВГнгд-4х4
				0,258	16,688	ВВГнгд-4х4
Насос подачі флегми (АХ 50-32-160)	2	8	0,09	0,212	13,014	ВВГнгд-4х2,5
				0,234	14,364	ВВГнгд-4х2,5
Вентилятор припливно-втяжної установки (ВЦ 4-75 №6.3)	1	8	0,09	0,248	15,219	ВВГнгд-4х2,5
				0,242	14,851	ВВГнгд-4х2,5
Група Б						
Насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200)	2	8	0,09	0,212	13,014	ВВГнгд-4х2,5
				0,212	13,014	ВВГнгд-4х2,5
Насос відбору сивушних масел (ВКС 2/26)	2	8	0,09	0,224	15,005	ВВГнгд-4х2,5
				0,224	15,005	ВВГнгд-4х2,5
Насос відкачування лютера (Х 80-50-200)	2	5	0,09	0,238	15,394	ВВГнгд-4х4
				0,244	15,782	ВВГнгд-4х4
Насос подачі флегми (АХ 50-32-160)	2	8	0,09	0,239	12,277	ВВГнгд-4х2,5
				0,239	12,277	ВВГнгд-4х2,5
Компресор пневмоавтоматики (ПК-5.25)	1	3,33	0,09	0,215	11,367	ВВГнгд-4х6
				0,221	11,367	ВВГнгд-4х6
Насос подачі охолоджуючої води (Д 200-36)	1	3,33	0,09	0,214	11,007	ВВГнгд-4х6
Мішалка збірника спирту (МР-15)	1	5	0,09	0,219	11,496	ВВГнгд-4х4
Вентилятор припливно-втяжної установки (ВЦ 4-75 №6.3)	1	8	0,09	0,241	14,789	ВВГнгд-4х2,5
				0,248	15,314	ВВГнгд-4х2,5

2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

Розрахункова схема та схема заміщення короткозамкненого кола зображені на рисунках 2.1 та 2.2. Вихідні дані для розрахунку зведені в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 - Результати розрахунків

Показник	Значення
U_0 кВ	0,4
$I_{к10}$ кА	4,302
U_{c10} кВ	10,5
$S_{ном.Т}$ кВА	630
ΔP_k кВт	7,6
u_k %	5,5

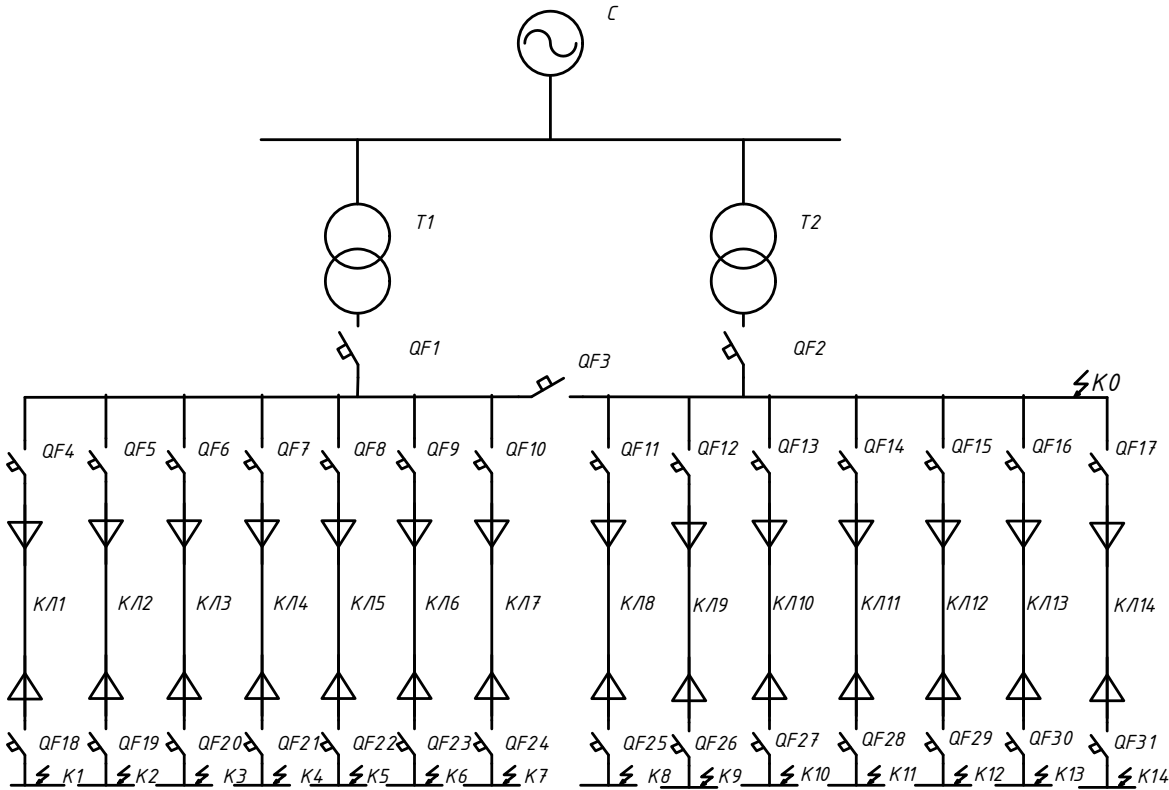


Рисунок 2.1- Розрахункова схема

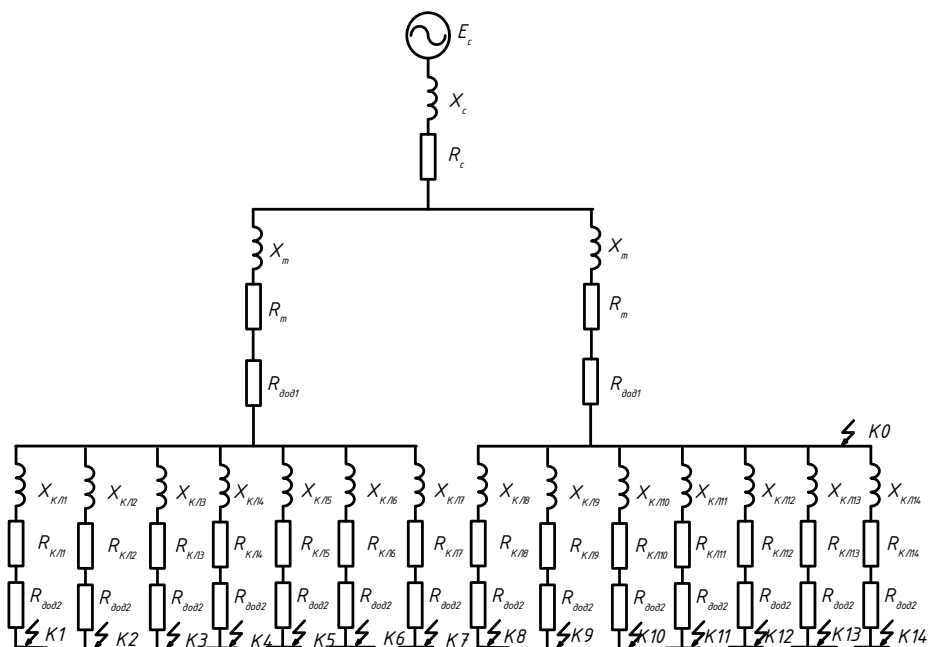


Рисунок 2.2 - Схема заміщення короткозамкненого кола

Розрахуємо струми КЗ, результати розрахунків зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 - Результати розрахунків

Показник	Значення
R_C Ом	0,579
X_C Ом	1,409
$\dot{R}_C$ МОм	0,840
$\dot{X}_C$ МОм	2,045
$\dot{R}_T$ МОм	3,064
$\dot{X}_T$ МОм	13,968
$\dot{R}_{рез0}$ МОм	18,903
$\dot{X}_{рез0}$ МОм	16,013
$Z_{рез0}$ МОм	24,774
I_K кА	9,322
k_y —	1,05
i_y кА	13,842

Результати розрахунків опорів зведемо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 - Результати розрахунків

Назва кабельної лінії	l , км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R , мОм	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X , мОм
ТП-РП1.1	0,138	0,800	110,4	0,0700	9,66
ТП-РП1.2	0,144	0,800	115,2	0,0700	10,08
ТП-РП2.1	0,12	0,800	96	0,0700	8,4
ТП-РП2.2	0,12	0,800	96	0,0700	8,4
ТП-РП3.1	0,144	0,800	115,2	0,0700	10,08
ТП-РП3.2	0,09	0,800	72	0,0700	6,3
ТП-РП4.1	0,108	0,800	86,4	0,0700	7,56
ТП-РП4.2	0,114	0,800	91,2	0,0700	7,98
ТП-РП5.1	0,138	2,000	276	0,0700	9,66
ТП-РП5.2	0,096	2,000	192	0,0700	6,72
ТП-РП6.1	0,126	2,000	252	0,0700	8,82
ТП-РП6.2	0,15	2,000	300	0,0700	10,5
ТП-РП7.1	0,09	2,000	180	0,0700	6,3
ТП-РП7.2	0,132	2,000	264	0,0700	9,24

Результати розрахунку струмів зведемо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 - Результати розрахунків

Точка КЗ	$R_{\text{дод}}$, мОм	$\dot{R}_{\text{рез}}$, мОм	$\dot{X}_{\text{рез}}$, мОм	$\dot{Z}_{\text{рез}}$, мОм	I_K , кА	i_y , кА	F_{min} , мм ²	Прийнятий переріз
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K1	20	134,30	25,67	136,74	1,689	2,389	7,2	25
K2	20	139,10	26,09	141,53	1,632	2,308	6,9	25
K3	20	119,90	24,41	122,36	1,887	2,669	8,0	25
K4	20	119,90	24,41	122,36	1,887	2,669	8,0	25
K5	20	139,10	26,09	141,53	1,632	2,308	6,9	25
K6	20	95,90	22,31	98,46	2,345	3,317	9,9	25
K7	20	110,30	23,57	112,79	2,047	2,896	8,7	25
K8	20	115,10	23,99	117,58	1,964	2,778	8,3	25
K9	20	299,90	25,67	301,00	0,767	1,085	3,3	10
K10	20	215,90	22,73	217,10	1,064	1,504	4,5	10

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				32

Продовження таблиці 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
K11	20	275,90	24,83	277,02	0,834	1,179	3,5	10
K12	20	323,90	26,51	324,99	0,711	1,005	3,0	10
K13	20	203,90	22,31	205,12	1,126	1,592	4,8	10
K14	20	287,90	25,25	289,01	0,799	1,130	3,4	10

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Для розрахункового обліку встановлюємо лічильники LZQJ-XC (ЕМН). Для технічного обліку, встановлюємо амперметри N14 (Lumel). Для розрахункового та технічного обліку трансформатори струму ТШ-0,66-2 (Мегомметр) та

Трансформатор (СТР) (ЕТІ) з коефіцієнтом трансформації 1500/5 та 200/5 відповідно.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.23. та 2.24 т

Таблиця 2.23 – Перевірка трансформаторів струму для розрахункового обліку

Показник	Значення
$U_{уст}, \text{кВ}$	0,4
$I_{норм}, \text{А}$	636,51
$I_{max}, \text{А}$	1273,03
$i_y, \text{кА}$	13,842
$I_{п0}, \text{кА}$	9,322
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	21,72
$z_2, \text{Ом}$	0,255
$U_{уст}, \text{кВ}$	0,4
$I_{max}, \text{А}$	156,79
$i_y, \text{кА}$	2,308
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	0,67
$z_2, \text{Ом}$	0,115

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Результати вибору та перевірки зведемо в таблицю 2.25

Таблиця 2.25 - Результати розрахунків

Назва	Тип вимикача	$I_{номрозщ}, A$	$I_{грвмк}, kA$	$I_{ном}, A$	I_{max}, A	I_K, A
QF1	h1600	1600	50	636,51	1273,03	9,322
QF2	h1600	1600	50	636,51	1273,03	9,322
QF3	h1600	1600	50	636,51	1273,03	9,322
QF4	x160	160	36	68,52	137,04	1,689
QF5	x160	160	36	68,52	137,04	1,689
QF6	x160	160	36	73,14	146,28	1,632
QF7	x160	160	36	73,14	146,28	1,632
QF8	x160	160	36	72,26	144,52	1,887
QF9	x160	160	36	72,26	144,52	1,887
QF10	x160	160	36	73,68	147,35	1,887
QF11	x160	160	36	73,68	147,35	1,887
QF12	x160	160	36	77,56	155,11	1,632
QF13	x160	160	36	77,56	155,11	1,632
QF14	x160	160	36	78,40	156,79	2,345
QF15	x160	160	36	78,40	156,79	2,345
QF16	x160	160	36	73,75	147,50	2,047
QF17	x160	160	36	73,75	147,50	2,047
QF18	x160	160	36	73,27	146,53	1,964
QF19	x160	160	36	73,27	146,53	1,964
QF20	x160	80	36	34,47	68,94	0,767
QF21	x160	80	36	34,47	68,94	0,767
QF22	x160	80	36	35,62	71,24	1,064
QF23	x160	80	36	35,62	71,24	1,064
QF24	x160	100	36	41,90	83,81	0,834
QF25	x160	100	36	41,90	83,81	0,834
QF26	x160	100	36	42,09	84,18	0,711
QF27	x160	100	36	42,09	84,18	0,711
QF28	x160	100	36	41,26	82,52	1,126
QF29	x160	100	36	41,26	82,52	1,126
QF30	x160	80	36	39,99	79,99	0,799
QF31	x160	80	36	39,99	79,99	0,799

2.12.5. Вибір рубильників

Результати вибору та перевірки рубильників є.РЕ19.41 31140 (E.NEXT) зведемо в таблицю 2.26.

Таблиця 2.26 - Результати розрахунків

Показник	Значення
$U_{уст}, \text{кВ}$	0,4
$I_{норм}, \text{А}$	636,51
$I_{max}, \text{А}$	1273,03
$i_y, \text{кА}$	13,842
$I_{n0}, \text{кА}$	9,322
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	21,72

2.13. Проектування освітлювальної мережі

Вибір освітлювального обладнання та мережі проведемо методом додатку А. В таблицю 2.27 запишемо результати:

Таблиця 2.27 - Результати розрахунків

Параметри	Значення
1	2
a, м	48
b, м	32
s, м ²	1536
H _p м.	6
h _c м.	2
L _p м.	0,4
H _p м.	1
n _{св} , шт	5
n _p , рядів	8
l _a , м	2,8
l _b , м	-7,1
i	3,20
N _{св} , шт	40
Φ _{розр} , Лм	22362

Продовження таблиці 2.27

1	2
$\Phi_{\text{лампи}}$, Лм	21800
$\Delta\Phi$ %	2,58
P_0 кВт	2,56
$P_{p.0}$ кВт	2,176
Світильники	ДСП56У2Ех-2х80-241 У2
щит	e.mbox.pro.n.12 (E.NEXT)
АВ	$I_{ном} = 16 \text{ A};$
ввідний АВ	$I_{ном} = 63 \text{ A}.$
Кабель до світильників	ВВГнгд 3х2,5 $I_{тр.доп} = 25 \text{ A}$
Кабель до щита	ВВГнгд-3х10

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОГО ЦЕХУ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

3.1. Загальні принципи побудови імітаційної моделі електротехнічного комплексу

Для поглибленого аналізу динамічних перехідних процесів, що протікають у системі електропостачання спиртзаводу, та комплексної перевірки надійності прийнятих проєктних рішень, у даній роботі застосовано середовище візуального імітаційного моделювання MATLAB/Simulink із використанням спеціалізованої бібліотеки силових енергетичних систем Simscape Electrical (раніше SimPowerSystems). Побудова адекватних математичних моделей дозволила дослідити реальну поведінку електричної мережі в умовах індивідуальних та групових пусків електродвигунів, оцінити вплив специфічних механізмів на якість електроенергії на шинах 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції (ЦТП) та перевірити термічну стійкість апаратів захисту.

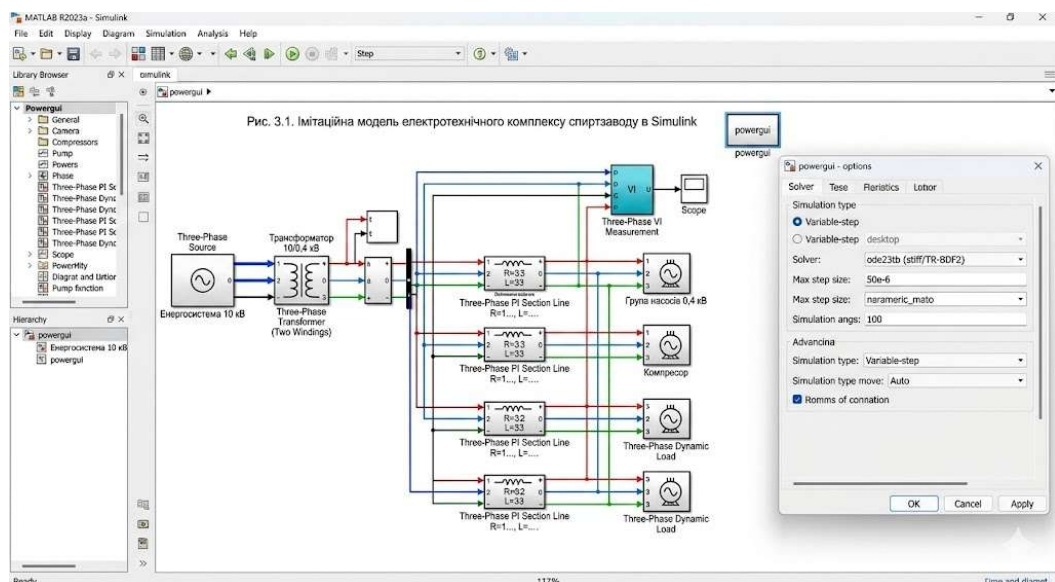


Рисунок 3.1 = Імітаційна модель електротехнічного комплексу в Simulink

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт Пояснювальна записка	Лім.	Арк.	Аркушів
Розробив	Остапук О.Р.					Д	36	5
Перевірів	Добровольська ЛН							
Реценз.								
Н.контр	Ващелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							
						ФАБЕ, гр ЕЕ-43		

Базова модель розрахункової схеми включає еквівалентне джерело живлення нескінченної потужності (блок Three-Phase Source), що імітує енергосистему вищого рівня, модель силового знижувального трансформатора 10/0,4 кВ (блок Three-Phase Transformer (Two Windings)) з урахуванням втрат у міді та сталі, а також П-подібні схеми заміщення кабельних ліній (блок Three-Phase PI Section Line), параметри яких (активний опір R та індуктивність L) розраховані на основі обраних раніше перерізів струмопровідних жил. Як метод розв'язання систем диференціальних рівнянь у блоці powergui обрано жорсткий алгоритм ode23tb з максимальним кроком інтегрування 50 мкс, що забезпечує високу точність обчислень під час моделювання високочастотних електромагнітних перехідних процесів.

3.2. Дослідження динаміки відцентрових насосних агрегатів

Найбільшу групу споживачів брагоректифікаційного цеху становлять механізми з вентиляторним характером навантаження на валу, зокрема: насос подачі охолоджуючої води (Д 200-36, 22 кВт), насос відкачування лютера (Х 80-50-200, 18,5 кВт), насос подачі браги (СМ 100-65-200/2, 15 кВт) та насос рециркуляції епюрату (К 80-50-200, 11 кВт). Для моделювання їхніх приводів використано блок Asynchronous Machine SI Units, налаштований відповідно до каталожних параметрів Т-подібної схеми заміщення асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (активні та індуктивні опори статора, ротора, контуру намагнічування).

Механічний момент опору насосів M_c є нелінійною функцією кутової швидкості обертання ω і моделюється за допомогою підсистеми Subsystem, яка реалізує класичне рівняння:

$$M_c = M_0 + (M_{nom} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{nom}} \right)^2 \quad 3.1$$

де M_0 — момент рушіння (тертя в підшипниках та сальниках), M_{nom} — номінальний момент на валу, ω_{nom} — номінальна кутова швидкість.

В ході комп'ютерного експерименту було зімітовано найбільш важкий режим експлуатації — одночасний прямий пуск (самозапуск після короткочасного зникнення напруги) найпотужніших агрегатів: насоса подачі охолоджуючої води (22

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

кВт) та насоса відкачування лютера (18,5 кВт). Осцилограми, отримані з блоків Scope, зафіксували сумарний пусковий струм на рівні 540 А. Тривалість перехідного процесу (час розгону до номінальної швидкості) склала 1,2 секунди. Аналіз графіка фазної напруги на секції шин 0,4 кВ показав, що в момент пуску відбувається просадка напруги на 11,4%, що знаходиться в межах допустимих 15% для умов пуску потужних двигунів, отже, самозапуск насосів не призведе до відпадання магнітних пускачів іншого працюючого обладнання.

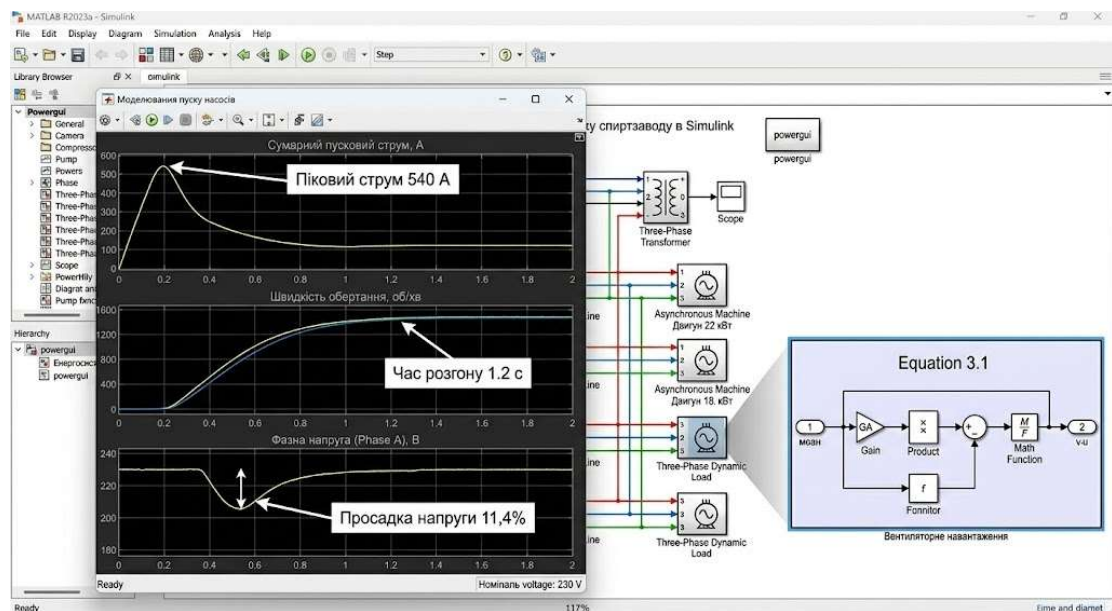


Рисунок 3.2 - Одночасний прямий пуск насоса подачі охолоджуючої води та насоса відкачування лютера

3.3. Моделювання роботи поршневого компресора пневмоавтоматики в умовах пульсуючого навантаження

Окрему складність становить моделювання режиму роботи компресора пневмоавтоматики (ПК-5.25, потужністю 22 кВт). На відміну від відцентрових насосів, поршковий компресор створює на валу електродвигуна різкоперемінне (пульсуюче) навантаження, яке залежить від кута повороту колінчастого вала та тактів стиснення повітря в циліндрах.

Для адекватного відображення цього процесу в Simulink була розроблена кастомна математична модель механічного навантаження. Момент опору компресора

описується як сума постійної складової та гармонічних складових (переважно першої та другої гармоніки механічної частоти обертання):

$$M_{comp}(t) = M_{avg} + \Delta M \cdot \sin(2 \cdot p \cdot \omega_s \cdot t + \phi) \quad 3.2$$

Моделювання показало, що прямий пуск компресора ПК-5.25 супроводжується не лише значними кидками струму (до 280 А), але й генерацією низькочастотних коливань потужності в живильну мережу під час сталого режиму роботи. Ці пульсації викликають незначний флікер напруги (амплітудна модуляція напруги мережі частотою близько 10–12 Гц). Оскільки ці коливання можуть негативно впливати на чутливу мікропроцесорну техніку контрольно-вимірювальних приладів (КВПіА), за результатами моделювання було обґрунтовано рішення щодо живлення компресорної установки від окремої секції шин ЦТП, ізольованої від ланцюгів управління.

3.4. Дослідження теплового стану асинхронного двигуна мішалки збірника спирту

Тихохідна лопатева мішалка збірника спирту (МР-15, потужність 15 кВт) характеризується величезним моментом інерції приєднаних мас (масивний вал, великі металеві лопаті, висока в'язкість рідини у великому об'ємі). Завдання моделювання полягало у визначенні тривалості затяжного пуску та оцінці теплового стану ротора.

У налаштуваннях блоку двигуна параметр сумарного моменту інерції J ($kg \cdot m^2$) було збільшено у відповідності до паспортних даних мішалки. Графіки перехідного процесу показали, що час виходу на номінальні оберти становить 8,5 секунд. Протягом усього цього часу по обмотках статора протікає пусковий струм, що в 5,5 разів перевищує номінальний. За допомогою блоку Integral було обчислено джоулів інтеграл ($I^2 t$) для оцінки кількості теплоти, що виділяється в обмотках:

$$Q = \int_0^{t_{start}} i^2(t) \cdot R \cdot dt \quad 3.3$$

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

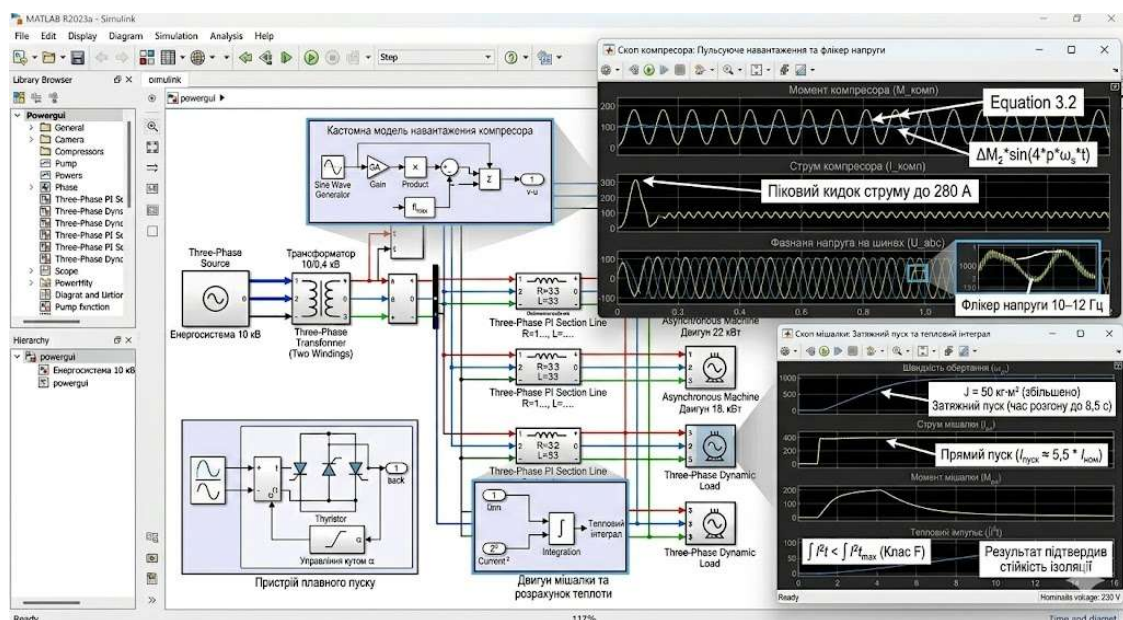


Рисунок 3.3 - Моделювання режиму роботи компресора пневмоавтоматики

Результати інтегрування підтвердили, що тепловий імпульс під час пуску не перевищує гранично допустимих значень для класу ізоляції двигуна (клас F). Проте, щоб уникнути деградації ізоляції при частих технологічних пусках, до розрахункової частини було внесено рекомендацію щодо встановлення пристрою плавного пуску (Soft Starter) для цього конкретного механізму. Імітація тиристорного софт-стартера в Simulink з обмеженням пускового струму на рівні 300% (поступове наростання кута відкриття тиристорів α) дозволила збільшити час розгону до 15 секунд, але при цьому суттєво знизити пікове теплове та електродинамічне навантаження на обмотки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971076.000 ПЗ

Арк.

41

РОЗДІЛ 4

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ (САПР)

Під час розробки даного дипломного проєкту для досягнення максимальної точності та ефективності інженерних рішень широко застосовувалися сучасні програмні комплекси та системи автоматизованого проєктування. Графічна частина проєкту, що включає принципові однолінійні схеми електропостачання, плани розташування електрообладнання та траси прокладання кабельних ліній, виконана у середовищі AutoCAD, що дозволило забезпечити високу якість креслень та їх повну відповідність чинним стандартам ЄСКД. Виконання масивних електротехнічних розрахунків, таких як визначення розрахункових електричних навантажень методом коефіцієнта максимуму, обчислення струмів короткого замикання, вибір оптимальних перерізів провідників та розрахунок втрат напруги, було реалізовано за допомогою табличного процесора Microsoft Excel.

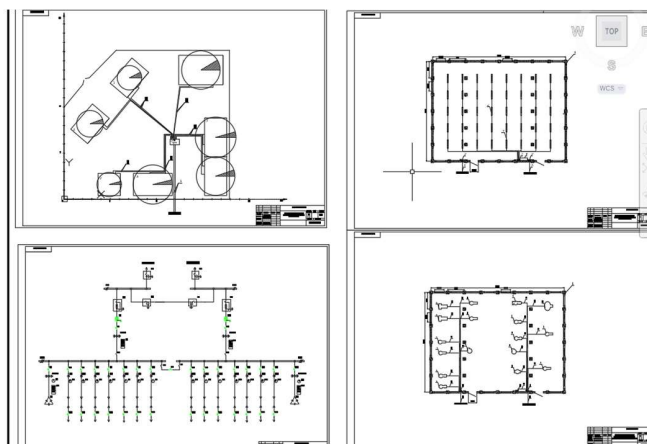


Рисунок 4.1 - Середовище AutoCAD

Оформлення пояснювальної записки, підготовка специфікацій та інтеграція розрахункових таблиць із текстовим масивом здійснювалися за допомогою текстового редактора Microsoft Word, що забезпечило належне структурування та академічну презентабельність кінцевої документації

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Остапук О.Р.			Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт. Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Добровольська ЛН					Д	42	1
Реценз.							ФАБЕ, гр ЕЕ-43		
Н.контр		Вашелюк Ю.І.							
Затвердив		Волинець В.І.							

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Проведемо розрахунки заземлюючого пристрою цеху за А.14:

Таблиця 5.1- Розрахунковий коефіцієнт опору ґрунту:

Позначення	од. вим.	Значення
r_1	-	39,7
r_2	-	114
k_1	-	1,21
L	м	3
H	м	0,51
тп	м	0,62
r	Ом*м	45,9
b	мм	10
t	м	0,91
гв	Ом	18,5
hв	-	0,73
ппр	шт	6,34 = 7
h	м	4,5
lг	мм	27,00
b	мм	40
k_2	-	2,0
h_r	-	0,68
r_2	Ом	7,18
R	Ом	6,44
n	шт	3,94

Висновки: обрали 4 електродів довжиною 3 м .

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання спиртзаводу встановленою потужністю 920 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Остапюк О.Р.					Д	43	1
Перевірів	Добровольська ЛН.					ФАБЕ, гр ЕЕ-43		
Реценз.								
Н.контр	Вашелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В результаті виконання проєкту була розроблена комплексна, надійна та економічно обґрунтована система електропостачання спиртзаводу із загальною встановленою потужністю дев'ятсот двадцять кіловат. На основі детального аналізу технологічного процесу та категорійності електроприймачів спроектовано оптимальну конфігурацію внутрішньозаводської розподільної мережі, яка гарантує безперебійне живлення відповідальних споживачів брагоректифікаційного цеху та інших структурних підрозділів. Успішно виконані розрахунки електричних навантажень дозволили правильно обрати потужність цехових трансформаторних підстанцій та перерізи струмопровідних жил кабельних ліній з урахуванням термічної стійкості, гранично допустимих втрат напруги та економічної густини струму.

Реалізовано заходи з компенсації реактивної потужності шляхом встановлення автоматизованих конденсаторних установок на стороні низької напруги, що дозволило суттєво розвантажити живильні лінії від реактивних струмів, знизити активні втрати електроенергії та підвищити загальний коефіцієнт потужності підприємства до необхідних нормативних значень.

Розраховані струми симетричного та несиметричного короткого замикання стали надійною базою для перевірки обраних автоматичних вимикачів на комутаційну здатність і чутливість, гарантуючи селективне та миттєве відключення пошкоджених ділянок мережі у разі виникнення аварійних режимів. Загалом, прийняті інженерні рішення повністю відповідають сучасним вимогам державних будівельних норм, правилам улаштування електроустановок та вимогам охорони праці, забезпечуючи високу енергоефективність, стабільність та експлуатаційну надійність функціонування сучасного спиртзаводу.

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. Електропостачання промислових підприємств : посіб. до курсового та дипломного проектування. Київ, 2013. 424 с.
2. Ковальчук Н. В., Фесіна Ю. Г., Заблоцька І. Л. Кваліфікаційна робота : метод. вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
3. Грицюк І. В., Грицюк Ю. В. Оформлення графічної частини : метод. вказівки до оформлення курсових і дипломних проєктів (робіт) для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Луцьк : ЛНТУ, 2026. 92 с.
4. ДСТУ ISO 128-22:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2005-01-01]. Київ : Технічний центр НАН України, 2005.
5. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р., Мунтян В. О., Радько І. П. Основи електропостачання сільського господарства : навч. посіб. Мелітополь : Видавничий будинок ММД, 2011. 462 с.
6. ДБН В.2.5-28:2018. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с.
7. Правила улаштування електроустановок / М-во енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2017. 617 с.
8. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ М-ва палива та енергетики України від 25.07.2006 р. № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06> (дата звернення: 01.05.2026).
9. Електротехнічна продукція підприємств України. URL: <http://energotransbud.com.ua> (дата звернення: 24.05.2026).
10. Рябенко І. С., Шевчук С. П., Мейта О. В. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 633 с.

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

11. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проєктування : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2007. 280 с.

12. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.

					ЛНТУ.971076.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46