

Здобувач: Михайляк Віталій Володимирович

Керівник: Барановська Міла Леонідівна

Тема: Електромеханічне обладнання для перекачування чистої питної води
Центральної насосної станції КП «Кривбасводоканал»

РЕФЕРАТ

У випусковій роботі розглянуто електромеханічне обладнання для перекачування чистої питної води Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал та обґрунтовано заходи щодо підвищення його енергоефективності та надійності. Актуальність теми зумовлена високою часткою електроспоживання насосних станцій у системах водопостачання та необхідністю впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

У роботі виконано вибір основного обладнання насосного агрегату, визначено потужність привідного асинхронного двигуна та обрано двигун типу ОМТ1 315-4. Для забезпечення регулювання продуктивності насосної установки прийнято систему електропривода ПЧ–АД з використанням перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, спеціально призначеного для насосних систем.

Проведено розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна, побудовано його статичні характеристики та досліджено енергетичні й динамічні режими роботи. Встановлено, що система ПЧ–АД забезпечує плавне регулювання швидкості, зменшення пускових струмів та стабільну роботу насосного агрегату в широкому діапазоні навантажень.

Додатково виконано розрахунок системи електропостачання насосної станції, визначено навантаження, підібрано силові трансформатори, кабельні лінії та комутаційно-захисну апаратуру, а також проаналізовано режими роботи в нормальних і аварійних умовах.

Результати роботи підтверджують доцільність впровадження частотно-регульованого електропривода, що забезпечує підвищення енергоефективності, надійності та стабільності роботи Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал.

НАСОСНА СТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ПЧ–АД, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ВСТУП

Системи водопостачання є критично важливою складовою інфраструктури житлово-комунального господарства, оскільки забезпечують безперервне подавання питної води споживачам. Особливе значення мають центральні насосні станції, які здійснюють підйом, транспортування та розподіл води у міських мережах. Надійність та енергоефективність їх роботи безпосередньо впливають на стабільність водопостачання та якість наданих послуг.

Центральна насосна станція КП Кривбасводоканал є одним із ключових об'єктів системи водопостачання регіону та характеризується значними енерговитратами, оскільки в її складі працюють потужні насосні агрегати, що забезпечують перекачування великих об'ємів чистої питної води. У зв'язку з цим актуальним є питання підвищення енергоефективності електромеханічного обладнання, зниження експлуатаційних витрат та підвищення надійності роботи насосних установок.

Сучасним напрямом удосконалення насосних електроприводів є впровадження регульованих систем типу ПЧ–АД, які дозволяють забезпечити плавне регулювання продуктивності насосів, зменшити пускові струми, знизити гідравлічні та механічні навантаження, а також підвищити загальну енергоефективність системи.

У даній роботі розглядається електромеханічне обладнання для перекачування чистої питної води Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал та можливості його модернізації шляхом застосування сучасного частотно-регульованого електропривода.

Об'єкт дослідження – електромеханічне обладнання насосного агрегату Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал.

Предмет дослідження – енергетичні, статичні та динамічні характеристики електропривода насосного агрегату та система його частотного регулювання.

Мета роботи – підвищення енергоефективності та надійності роботи насосного обладнання Центральної насосної станції шляхом впровадження сучасного регульованого електропривода на базі системи ПЧ-АД.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

- аналіз технологічного процесу перекачування питної води;
- вибір основного електромеханічного обладнання насосного агрегату;
- розрахунок параметрів асинхронного двигуна та побудова його характеристик;
- дослідження статичних і динамічних режимів роботи електропривода ПЧ-АД;
- аналіз енергетичних показників системи;
- розрахунок і проектування системи електропостачання насосної станції;
- вибір захисної та комутаційної апаратури.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для модернізації насосних агрегатів Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал, що дозволяє підвищити надійність водопостачання, знизити споживання електроенергії та покращити техніко-економічні показники роботи підприємства.

1.1 Характеристика КП Кривбасводоканал

Система водопостачання населених пунктів призначена для забору, очищення та транспортування питної води споживачам. Якість води, що подається населенню, повинна відповідати вимогам Державних санітарних правил і норм «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». Питна вода використовується для забезпечення потреб населення, комунально-побутових об'єктів, міського господарства, господарсько-питних потреб промислових підприємств, а також для пожежогасіння.

Якість питної води визначається її складом і властивостями:

- у джерелах водопостачання;
- під час подачі у водопровідну мережу;
- безпосередньо у точках водорозбору.

До основних гігієнічних вимог, які визначають придатність води для питного використання, належать:

- епідемічна безпека - відсутність у воді бактерій, вірусів та інших біологічних забруднень;
- хімічна безпечність - концентрації органічних і неорганічних речовин не повинні перевищувати гранично допустимі норми;
- належні органолептичні показники - допустимі значення запаху, кольоровості, каламутності, присмаку, жорсткості та інших характеристик;
- радіаційна безпека - відповідність допустимим рівням сумарної об'ємної активності природного альфа- та бета-випромінювання.

Центральна насосна станція III підйому здійснює приймання води з магістральних водопроводів у резервуари, де відбувається розрив струменя. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення дохлорування води відповідно до вимог Правил технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації населених пунктів України та чинних державних санітарних норм.

Експлуатацію та обслуговування хлораторних установок виконують оператори хлораторних установок або чергові машиністи, які пройшли відповідне навчання та мають дозвіл на виконання таких робіт.

Основні властивості хлору наведені в інструкції з охорони праці для операторів хлораторних установок. Роботи, пов'язані з експлуатацією, технічним обслуговуванням хлорного обладнання та ліквідацією можливих аварійних ситуацій, належать до газонебезпечних. Тому персонал повинен знати та суворо дотримуватися вимог інструкції з охорони праці під час виконання газонебезпечних робіт.

Об'єктом дослідження є Центральна насосна станція КП Кривбасводоканал.

Держинська насосна станція належить до насосних станцій III підйому. Подача води до резервуарів станції здійснюється двома водоводами діаметром 600–800 мм від Карачунівських очисних водопровідних споруд, а також двома водоводами діаметром 800 мм від Радушанських очисних водопровідних споруд. На станції виконується процес дохлорування води. Відмітка днища резервуара становить 92,35 м, а переливна відмітка - 97,45 м.

До складу насосної станції входять такі споруди та обладнання:

1. Резервуар чистої води №1 об'ємом 6000 м³, двосекційного виконання, з максимальним рівнем води 5,1 м та мінімальним - 3,0 м.
2. Резервуар чистої води №2 об'ємом 6000 м³, односекційний, з максимальним рівнем 4,75 м та мінімальним - 2,5 м.
3. Будівля насосної станції, у якій встановлено чотири насосні агрегати, закритий розподільчий пристрій 6 кВ та службово-побутові приміщення.
4. Склад хлору разом із хлораторною установкою.
5. Технологічні трубопроводи з камерою перемикачів та система каналізації на території станції.
6. Підстанція відкритого типу ОРУ-35/6 кВ.
7. Основне технологічне обладнання станції, до складу якого входять чотири насосні агрегати.

Очищення міських стічних вод та захист поверхневих водойм Кривбасу забезпечується роботою очисних споруд, до складу яких входять Центральна, Південна, Інгулецька станції аерації, а також станція аерації селища Авангард.

Центральна станція аерації є одним із ключових екологічних об'єктів Криворізького регіону та басейну Нижнього Дніпра. Після проходження біологічного очищення вода через систему ставків-накопичувачів надходить до Каховського водосховища, яке є джерелом питного водопостачання для значної частини населення Кривбасу. Саме з цього джерела забезпечується водою близько 80 % мешканців регіону.

Контроль якості питної води та ефективності очищення стічних вод здійснює акредитована центральна хіміко-бактеріологічна лабораторія. Реалізацією питної води, взаємодією зі споживачами та контролем своєчасної оплати послуг займається структурний підрозділ підприємства - служба Водозбут. Усі роботи з налагодження, перевірки релейного захисту підстанцій напругою до 35 кВ, а також високовольтні випробування електрообладнання виконує власна електротехнічна лабораторія. Технічне обслуговування та ремонт автотранспорту, землерийної техніки, насосного обладнання, засобів відкачування й іншого технологічного устаткування забезпечують автотранспортний цех і механічна майстерня підприємства.

1.2 Технолічна схема роботи Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал

Із Карачунівського водосховища вода надходить на Центральну насосну станцію, технологічна схема якої наведена на рис. 1.1.

До складу Центральної насосної станції входять насосні агрегати №1–№4, два резервуари чистої питної води об'ємом по 6000 м³ кожний, склад хлору, хлораторна установка та інші допоміжні споруди й обладнання. Станція оснащена такими елементами, як запірна арматура, засувки з електроприводом, зворотні клапани, рівнеміри, ультразвукові витратоміри, господарсько-питні водопроводи, хлоропроводи, система промислової каналізації, витратомірні колодязі та ультразвукові датчики рівня.

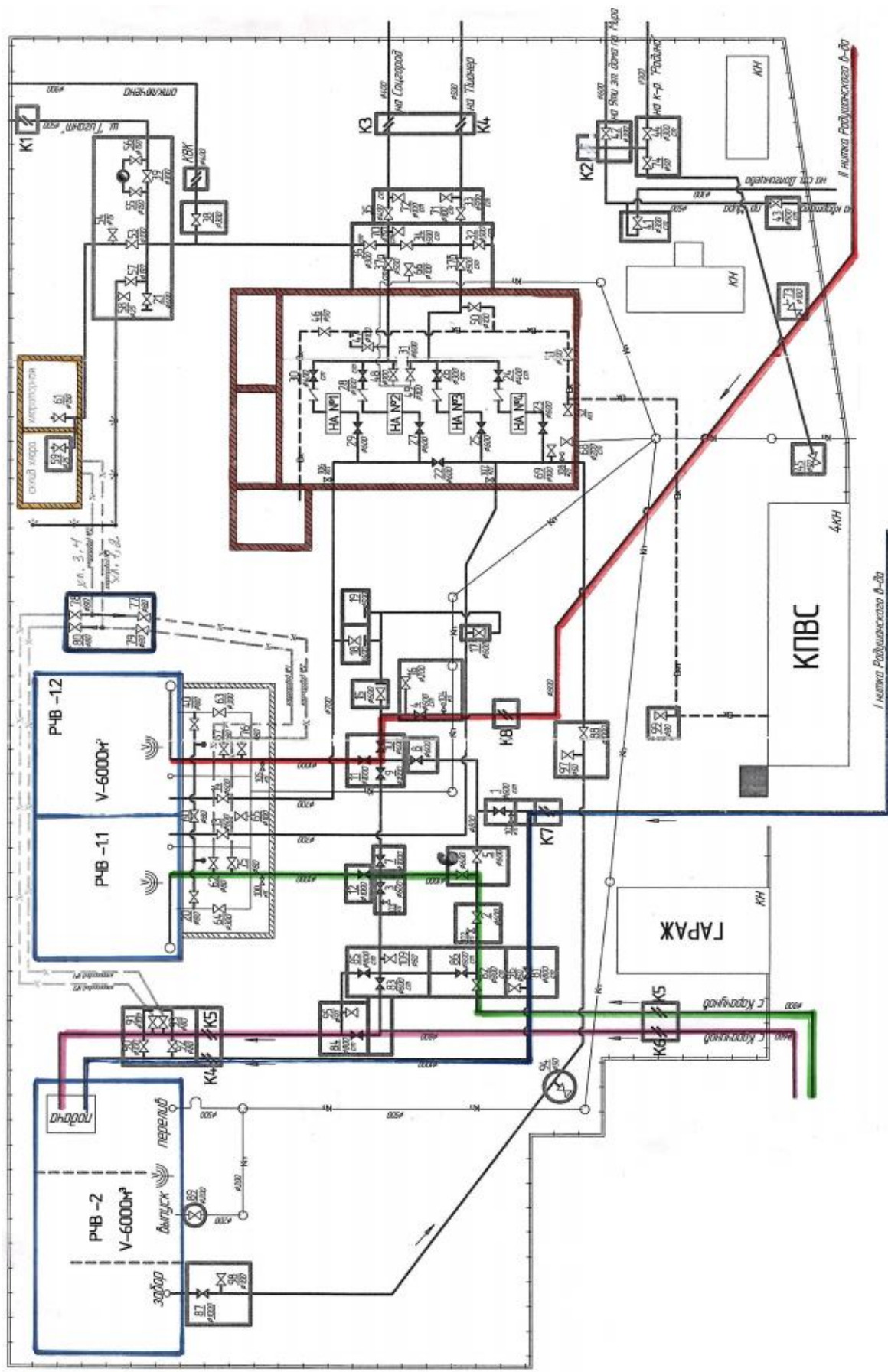


Рисунок 1.1 – Технологічна схема Центральної насосної станції

Система водопостачання міста включає комплекс споруд і обладнання, призначених для забору води, її очищення та підготовки, накопичення у резервуарах, а також подачі до розподільчої водопровідної мережі споживачів.

1.2.1 Нормальний режим роботи насосної станції

Вода від Карачунівських і Радушанських очисних водопровідних споруд надходить до резервуарів чистої води. Далі насосні агрегати здійснюють забір води з резервуарів та подають її до розподільної мережі, забезпечуючи необхідний тиск у межах від 5 до 10 атм. Підтримання тиску нижче 5 атм є недопустимим, оскільки за таких умов неможлива нормальна робота хлораторних установок. Необхідний режим тиску в мережі встановлюється відповідно до розпоряджень адміністрації.

Регулювання рівня води в резервуарах виконується за допомогою засувки №82 та №84, через які подається вода з Карачунівських споруд, а також засувки №1 і №4, що забезпечують подачу води по першій та другій нитках із Радушного.

У робочому режимі відкритими знаходяться засувки №1 - 15, 22, 23, 25, 27, 29, 32 - 37, 40 - 44, 46, 53, 66, а також засувки на напірній стороні працюючих насосних агрегатів. Засувки №16 - 19, 21, 31, 47 - 49, 52, 58 - 60, 63, 64, 67, 69, 70, 71, 74 та засувки на напірній стороні резервних агрегатів перебувають у закритому стані.

Засувка №2 працює у повністю відкритому положенні, а регулювання рівня води в резервуарі здійснюється засувкою №82.

1.2.2 Аварійний режим роботи насосної станції

У разі пошкодження трубопроводу між насосом і засувкою на напірній стороні необхідно негайно зупинити насосний агрегат та перекрити напірну засувку.

Якщо порив стався на ділянці трубопроводу між засувками №28, 30, 31, 34 - 36, слід зупинити насосні агрегати №1 і №2, якщо вони перебувають у роботі, після чого закрити засувки №34 - 36. Далі необхідно ввести в роботу агрегати №3 або №4, відключити хлораторні установки та повідомити про аварійну ситуацію начальника дільниці й диспетчера підприємства.

У випадку пошкодження трубопроводу між засувками №24, 26, 31 - 34 потрібно зупинити агрегати №3 і №4, якщо вони працюють, закрити засувки №32 - 34 та ввести в експлуатацію агрегат №1 або №2. Про аварію також необхідно повідомити начальника дільниці та диспетчера підприємства.

При виникненні пориву напірного трубопроводу на території насосної станції необхідно вимкнути хлораторні установки та знизити тиск у мережі шляхом відключення одного з працюючих насосних агрегатів. Якщо витік води створює загрозу затоплення території та може спричинити повну зупинку насосної станції, слід перекрити відключаючу засувку відповідного водоводу. Про подію потрібно негайно повідомити начальника дільниці, диспетчера підприємства та, за можливості, споживача.

Конструкцією насосної станції передбачена можливість подачі води на всмоктувальні трубопроводи насосних агрегатів безпосередньо з підвідних трубопроводів. За такою схемою насосні агрегати можуть працювати паралельно як від резервуарів чистої води, так і від підвідних трубопроводів. У цьому випадку підтримання необхідної концентрації залишкового хлору забезпечується водою, що надходить із резервуарів чистої води. Також допускається робота лише від підвідних трубопроводів без проведення дохлорування, залежно від положення та ступеня відкриття засувки №11, 15 і 17.

Застосування такого режиму роботи насосної станції допускається лише з дозволу керівництва підприємства.

У всіх випадках аварійного або раптового відключення насосної станції необхідно негайно вимикати хлораторні установки. Процес дохлорування води та експлуатація хлораторного обладнання виконуються відповідно до

інструкцій для чергового персоналу з дохлорування питної води на насосних станціях КП Кривбасводоканал.

Про будь-які порушення чи зміни режиму роботи насосної станції черговий персонал зобов'язаний повідомити диспетчера підприємства та начальника дільниці.

1.2.3 Підготовка насосних агрегатів до пуску

Перед введенням насосного агрегату в роботу необхідно виконати такі підготовчі операції:

- а) вручну повернути вал агрегату для перевірки легкості його обертання;
- б) перевірити наявність мастила в підшипниках насоса та електродвигуна;
- в) перевірити стан фідера агрегату, який готується до запуску, та подати на нього постійний і змінний струм. При цьому на шафі ТВУ електродвигуна повинна засвітитися сигнальна лампа «Закрито», що свідчить про закриті положення напірної засувки;
- г) перевірити положення всмоктувальної та напірної засувки: всмоктувальна засувка має бути відкритою, а напірна - закритою;
- д) заповнити робочу камеру насоса водою та перевірити стан сальникових ущільнень;
- е) виконати огляд щіткового апарата електродвигуна.

1.2.4 Пуск та зупинка насосного агрегату

Перед запуском насосного агрегату необхідно увімкнути вакуум-насос для заповнення насоса водою.

Пуск електродвигуна насосного агрегату виконується шляхом подачі оперативного струму та переведення ключа керування КУ на шафі ТВУ у робоче положення. Після цього вмикається масляний вимикач, і електродвигун починає розгін агрегату.

Після створення насосом тиску в межах 10–11 атмосфер здійснюється відкриття напірної засувки за допомогою кнопки керування, розташованої на шафі ТВУ насосного агрегату.

Для зупинки насосного агрегату спочатку необхідно закрити напірну засувку, після чого ключем керування КУ на шафі ТВУ вимикається масляний вимикач електродвигуна, внаслідок чого агрегат зупиняється.

1.2.5 Хлорування води

Для здійснення процесу хлорування використовується зріджений хлор, який постачається у балонах об'ємом 40 л. Оскільки для знезараження застосовується газоподібний хлор, його отримують методом безпосереднього випаровування без використання спеціальних випарних установок. Випаровування хлору відбувається після відкриття вентиля балона внаслідок зниження тиску всередині нього та надходження тепла з навколишнього середовища через стінки балона.

Контроль витрати рідкого хлору здійснюється шляхом періодичного зважування балонів. Робота хлораторів базується на високій розчинності хлору у воді: газоподібний хлор захоплюється потоком води, розчиняється в ній та забезпечує необхідну концентрацію для проведення дезінфекції.

Відбір хлору з балонів проводиться лише у вертикальному положенні. Постійно контролюються витрата хлору та ступінь спорожнення балонів. Після повного використання хлору залишковий тиск у балоні повинен становити не менше 0,5 кгс/см².

На всіх стадіях очищення та подачі води контроль її якості здійснює хіміко-бактеріологічна лабораторія Водоканалу. Якість питної води, що надходить у розподільну мережу після очищення, відповідає вимогам СанПіН 2.1.4.1074-01.

На Центральній насосній станції очищена вода подається споживачам за допомогою насосного обладнання.

1.2.6 Очисні споруди

Господарсько-побутові стічні води від споживачів надходять самопливними каналізаційними колекторами до приймальних резервуарів каналізаційних насосних станцій (КНС), які розташовані в різних районах міста та виконують функцію проміжних насосних станцій.

Кожна каналізаційна насосна станція обладнана грабельним відділенням із решітками, призначеними для вилучення великогабаритного сміття та механічних домішок. Основним завданням КНС є перекачування стічних вод насосними агрегатами, встановленими в машинних залах.

Після цього стічні води транспортуються напірними каналізаційними колекторами до спеціальних колодязів-гасителів, які використовуються для зниження тиску в каналізаційній мережі. Від колодязів-гасителів стічні води далі рухаються самопливними колекторами до наступних каналізаційних насосних станцій, а потім — до головних колекторів і головних насосних станцій для подальшого перекачування на очисні споруди.

Процес очищення стічних вод включає кілька основних стадій:

1. Механічне очищення - видалення грубих домішок за допомогою решіток, пісколовок і первинних відстійників.
2. Біологічне очищення - очищення стічних вод в аеротенках і вторинних відстійниках.
3. Доочищення - додаткове покращення якості очищеної води.
4. Ультрафіолетове знезараження - завершальний етап дезінфекції очищених стічних вод.

1.2.7 Об'єкт проектування - насос DHV.250-370PA

Об'єкт проектування - насос DHV.250-370PA встановлений на Центральній насосній станції і служить для перекачування чистої питної води до споживачів.

Центральна насосна станція до модернізації мала 4 насосних агрегати, характеристики яких показані у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики насосних агрегатів Центральної насосної станції

Насос-ний агрегат	Тип насосу	Подача насосу, м ³ /год	Тиск/напір, атм./м	Тип двигуна	Потужність двигуна, кВт	Швидкість двигуна, об/хв.
НА 1	Д2000-100	2000	10 / 100	СДН2-16-36-6	1000	1000
НА 2	Д-3200/75	3200	7,5 / 75	СД-2-65-57,6	800	1000
НА 3	Д-3200/75	3200	7,5 / 75	СД-2-65-57,6	800	1000
НА 4	20Д-6	2000	10 / 100	СДН 14-48-6	1000	1000

Після модернізації стан насосних агрегатів показаний в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Характеристики насосних агрегатів Центральної насосної станції після модернізації

Насос-ний агрегат	Тип насосу	Подача насосу, м ³ /год	Тиск/напір, атм./м	Тип двигуна	Потужність двигуна, кВт	Швидкість двигуна, об/хв.
НА №1	Д2000-100	2000	В резерві			
НА №2	Д-3200/75	3200	Демонтований			
НА №3	Д-3200/75	3200	В резерві			
НА №4	DHV.250-370PA	1227	3,9 / 40	ОМТ1 315-4	250	1487

1.3 Будова та технічні характеристики насоса DHV.250-370PA

До складу Насосного агрегату №4 входить новий насос DHV.250-370PA, який виготовлений компанією АО Hydro-Vacuum - лідером у виробництві насосів у Польщі (рис. 1.1).

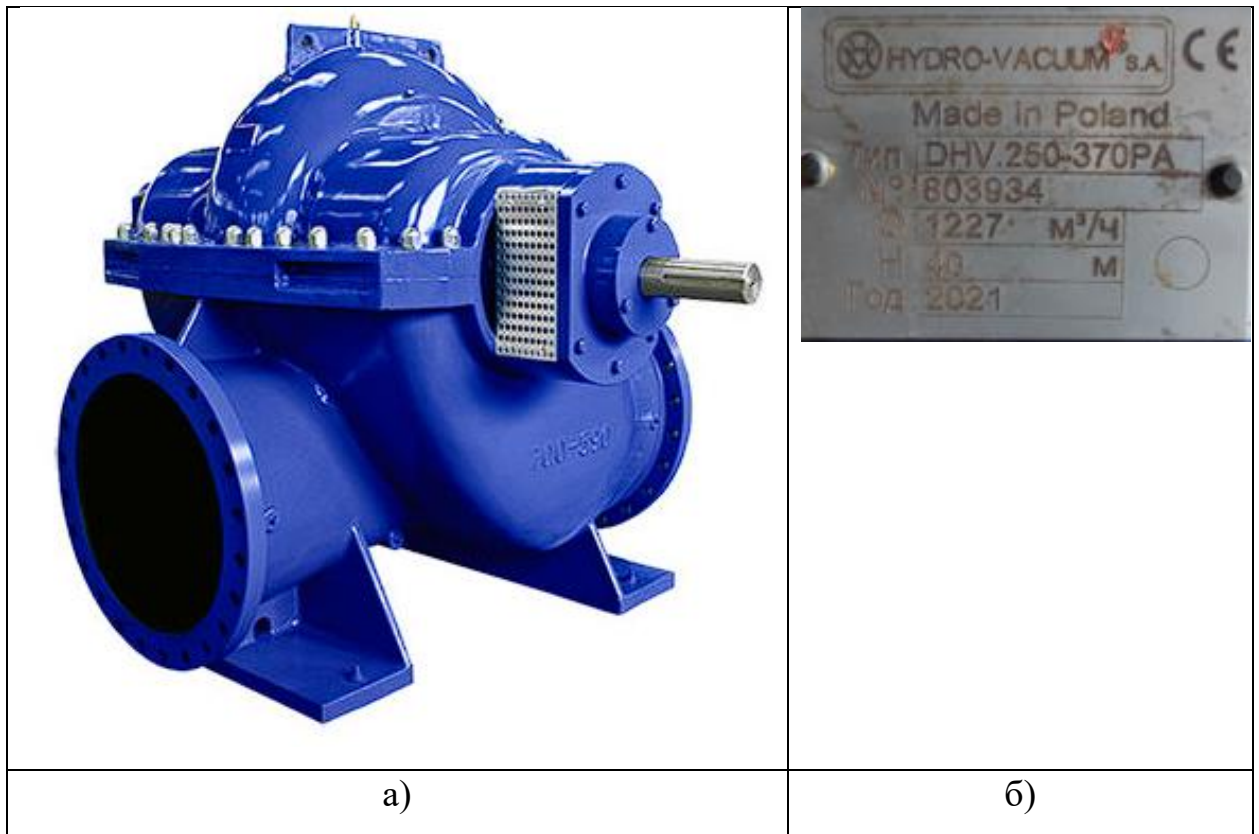


Рисунок 1.1 - Насоси двостороннього входу типу DHV: а) загальний вид насоса DHV.250-370PA; б) табличка з паспортними даними

Насос DHV 250-370PA – це агрегат двостороннього входу, горизонтальний одноступеневий відцентровий насос, який застосовується у системах водопостачання, насосних станціях, на гірничо-збагачувальних комбінатах; у системах пожежогасіння; у системах циркуляційного охолодження; у комунальному водопостачанні.

Можна виділити переваги насоса: висока продуктивність; знижені осьові навантаження; підвищена довговічність; зручність ремонту; можливість роботи у безперервному режимі; компактне розташування патрубків.

1.3.1 Будова насоса DHV 250-370PA

Насос має робоче колесо з двостороннім підведенням рідини, завдяки чому: зменшується осьове навантаження на вал; підвищується ресурс підшипників; забезпечується велика подача при стабільній роботі.

Корпус насосу виконаний із горизонтальним розніманням, завдяки чому: проводиться ремонт без демонтажу трубопроводів; спрощується технічне обслуговування; забезпечується швидкий доступ до робочого колеса.

Основні конструктивні елементи насоса:

- корпус із горизонтальним осьовим розніманням;
- робоче колесо двостороннього входу;
- вал насоса;
- підшипникові вузли;
- ущільнення валу;
- всмоктувальний і напірний патрубки;
- муфта з'єднання з електродвигуном;
- опорна рама.

Принцип роботи насоса. Під час роботи електродвигун через муфту обертає вал насоса з робочим колесом. Рідина одночасно надходить до колеса з двох боків, після чого під дією відцентрових сил переміщується до периферії та подається у напірний трубопровід.

1.3.2 Характеристики насоса DHV 250-370PA

Технічні характеристики насоса DHV 250-370PA наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики насоса DHV 250-370PA

Параметр насоса	Одиниця вимірювання параметру	Значення параметру
Тип	-	відцентровий, горизонтальний
Конструкція	-	двостороннього входу
Діаметр умовного проходу	мм	250
Діаметр робочого колеса	мм	370
Подача	м³/год	1227
Напір	м	40
Робоче середовище	-	чиста вода 1000 кг / м³
Температура рідини	°С	до 140
Вміст механічних домішок	мг/дм³	не більше 20
Матеріал корпусу та робочого колеса	-	чавун
Потужність приводного електродвигуна	кВт	200

Складальне креслення насоса DHV 250-370РА показано на рис. 1.2.

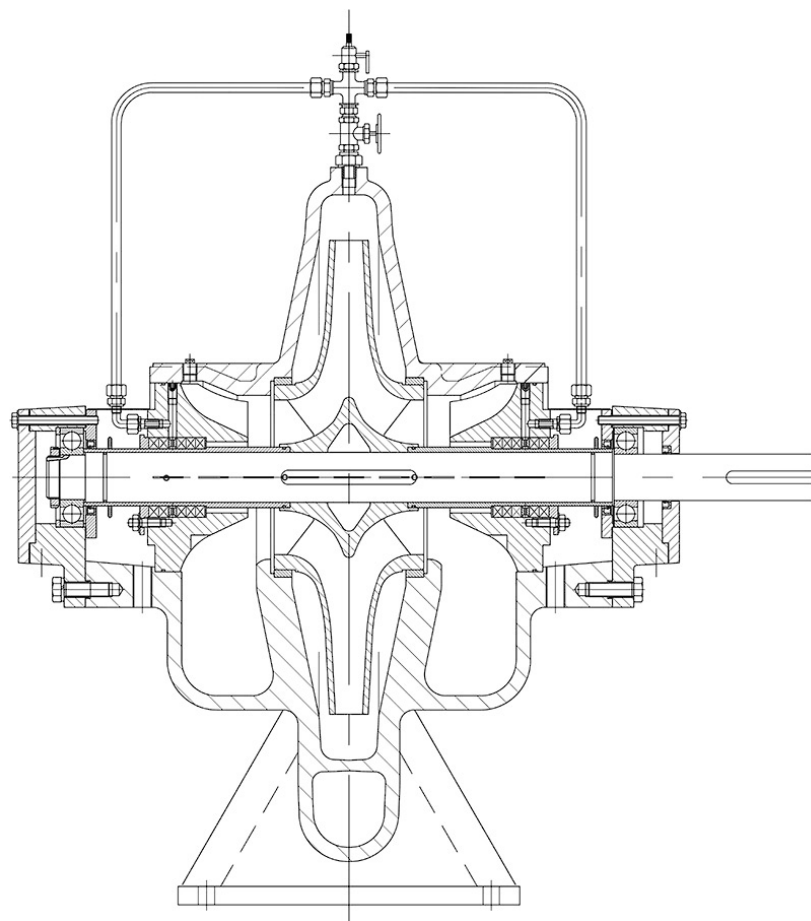


Рисунок 1.2 - Складальне креслення насоса DHV 250-370PA

Графічні характеристики насоса DHV 250-370PA відображають залежності напору, ККД, споживаної потужності та кавітаційного запасу від подачі насоса. Аналіз характеристик дозволяє визначити оптимальний режим роботи насосного агрегату та забезпечити його енергоефективну експлуатацію.

Для подальших розрахунків випускової роботи врахуємо графічні характеристики насоса DHV 250-370PA:

1. Напірна характеристика: $H = f(Q)$
2. Характеристика ККД: $\eta = f(Q)$

ККД зростає до оптимальної точки; максимальне значення досягається у номінальному режимі; далі ККД зменшується.

Для DHV максимальний ККД приблизно становить 85-90 %.

3. Характеристика потужності: $N = f(Q)$.

Споживана потужність зростає зі збільшенням подачі та для DHV 250-370PA

встановлюють двигун близько 250 кВт.

4. Кавітаційна характеристика: $NPSH = f(Q)$ показує необхідний кавітаційний запас насоса.

1.4 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна

1.4.1 Розрахунок потужності електродвигуна

Визначаємо потужність насоса за формулою [4]:

$$P_{розр} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367000 \cdot \eta} = \frac{1000 \cdot 1227 \cdot 40}{367000 \cdot 0,8} = 191,047 \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

де $\rho = 1000 \text{ кгс/м}^3$ – питома вага води чистої;

$Q = 1227 \text{ м}^3/\text{год.}$ – подача насоса;

$H = 40 \text{ м}$ – напір насоса;

$\eta = 70\text{-}90 \%$ – ККД відцентрових промислових насосів;

367000 – перевідний множник (константа).

1.4.2 Технічна характеристика приводного двигуна ОМТ1 315-4

Для привода насосного агрегату №4 обираємо приводний двигун ОМТ1 315-4 (рис. 1.4).



a)

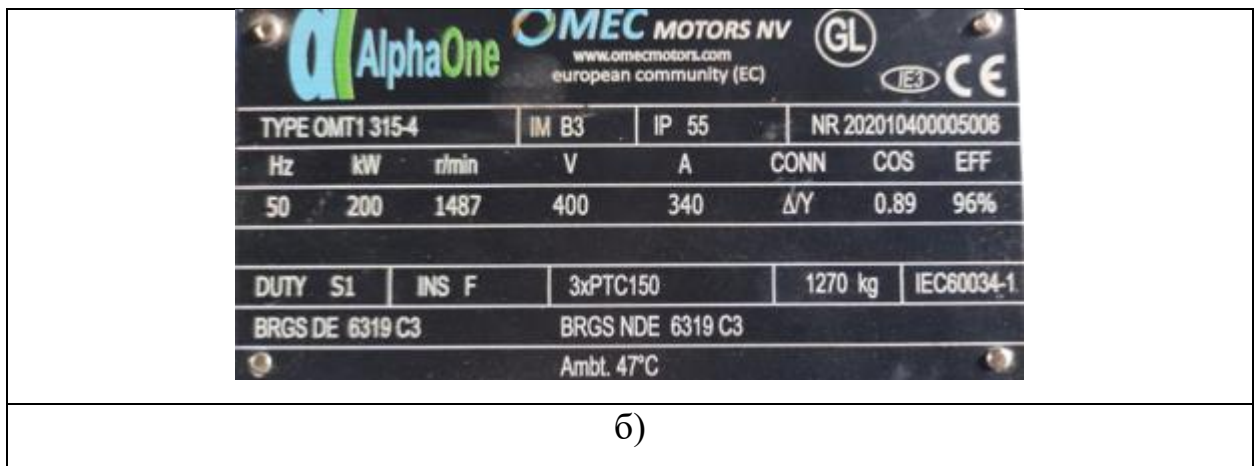


Рисунок 1.4 - Двигун ОМТ1 315-4: а) загальний вид; б) табличка з паспортними даними

Паспортні дані двигуна зведено до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Паспортні дані двигун ОМТ1 315-4

Параметр насоса	Одиниця вимірювання параметру	Значення параметру
Номінальна потужність	кВт	200
Номінальна швидкість	об/хв	1487
Синхронна швидкість	об/хв	1500
Режим роботи	-	S1
Номінальна лінійна напруга на обмотці статора	В	400
Коефіцієнт корисної дії (100%)	%	96
Коефіцієнт корисної дії (75%)	%	96,1
Коефіцієнт потужності	-	0,89
Номінальний струм	А	340
Коефіцієнт кратності пускового струму $I_{пуск}/I_{ном}$	-	6,1

Перевантажувальна здатність $M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}}$	-	3,3
Відношення $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$	-	2,7
Момент інерції	кг·м ²	5,7010
Клас енергоефективності	-	ІЕ 3

1.5 Основні вимоги до насосів та системи їх електропривода

До основних вимог, що висувуються до експлуатації сучасних центробіжних насосів, належать:

- висока економічність роботи, яка визначається значним коефіцієнтом корисної дії та порівняно невеликою вартістю обладнання;
- конструктивна простота, що забезпечує надійність функціонування та зручність технічного обслуговування;
- незначне зниження ККД при збільшенні в'язкості рідини, що перекачується;
- можливість ефективної автоматизації насосного агрегату й насосної станції;
- забезпечення прямої передачі крутного моменту від електродвигуна до вала насоса;
- сприятливі умови всмоктування з мінімальними витратами на створення підпору;
- надійна герметизація ущільнень при простоті їх обслуговування;
- раціональна компоновка насоса, яка дозволяє знизити витрати на монтаж, налагодження та подальшу експлуатацію.

З урахуванням особливостей технологічного процесу насосного агрегату до електропривода ставляться такі вимоги:

- забезпечення високої точності регулювання швидкості обертання;
- висока перевантажувальна здатність у всьому діапазоні швидкостей;
- широкий діапазон регулювання частоти обертання;
- можливість пуску агрегату під навантаженням;

- неререверсивний режим роботи електропривода;
- високі енергетичні показники та ефективність роботи.

Для привода насосного агрегату доцільно застосовувати частотно-регульований електропривод типу ПЧ–АД.

Основними перевагами такого електропривода є:

- плавне регулювання швидкості та висока жорсткість механічних характеристик, що забезпечує роботу у широкому діапазоні швидкостей;
- робота асинхронного двигуна при малих значеннях ковзання, завдяки чому втрати енергії не перевищують номінальних значень.

До недоліків частотно-регульованого електропривода належать:

- значна вартість перетворювачів частоти, особливо для приводів великої потужності;
- складність реалізації та налаштування більшості схем керування.

1.6 Розрахунок перетворювача та елементів силової частини

1.6.1 Вибір перетворювача частоти

Вибір перетворювача частоти проводимо, виходячи з таких умов:

$$U_{вихПЧ} \geq U_{1н}, P_{ПЧ} \geq P_n.$$

Згідно цих умов обираємо перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC-202.

Перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 - це спеціалізований привід (0.25 – 1400 кВт), розроблений для систем водопостачання, водовідведення та насосного обладнання. Забезпечує енергоефективність (скорочення витрат на 10-30%) та захист насосів, ідеальний для відцентрових, поршневих та свердловинних насосів (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 - Перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202:
а) загальний вид насоса DHV.250-370PA; б) таблицка з паспортними даними

Паспортні дані перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 зведено до табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Паспортні дані перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202

Параметр насоса	Одиниця вимірювання параметру	Значення параметру
Потужність (високе перевантаження)	кВт	250
Напруга живлення	В	3x380 - 480
Частота мережі	Гц	50 / 60
Струм	А	463 / 427
Потужність (нормальне перевантаження)	кВт	315

Струм	А	567 / 516
Діапазон вихідної частоти	Гц	0 – 480
Частота комутації	кГц	2 – 16
Температура	°С	0 - 50
Ступінь захисту	-	IP20
Вартість	грн	1 069 911

Перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 максимізує ефективність роботи електродвигуна, запобігає гідроударам при запуску, керує кількома насосами (робочий/резервний), вбудовані механізми захисту насоса від «сухого ходу» та перевантажень.

Привід Danfoss VLT AQUA Drive FC 202 часто використовується для модернізації старих систем, дозволяючи значно знизити витрати на електроенергію вже в перший рік експлуатації.

У ПЧ є функція автоматичної оптимізації енергоспоживання; режим управління заповнення труб; функція виявлення розривів та протікання; захист насоса від сухого ходу; вбудований каскадний контролер; функція чергування; функція компенсації витрат; режим "сон".

1.6.2 Вибір струмообмежуючого реактора та згладжуючого дроселя

Для електропривода насосного агрегата потужністю 200 кВт доцільно застосувати перетворювач частоти відповідної потужності (220–250 кВт, 0,4 кВ), що забезпечує регулювання продуктивності та енергоефективну роботу.

Для підвищення надійності системи та покращення якості електроенергії перед ПЧ встановлюється струмообмежуючий реактор 3–5% на струм 400 А, який знижує гармонічні спотворення та захищає випрямляч.

Обираємо струмообмежуючий реактор по пусковому струму АД, тому що якщо вибрати реактор за номінальним струмом, то АД не запуститься. З табл. 1.2:

- номінальний струм АД - 340 А;
- пусковий струм АД – 2074 А.

Обираємо струмообмежуючий реактор РТСТГ10-2500-0,20 з такими технічними даними:

- номінальний струм – 2500А;
- індуктивність – 0,44 мГн;
- активний опір – 0,059 Ом.

Зарубіжні аналоги:

- ABB Line Reactors (DRV / ACL series – custom high current) та Air-core / iron-core current limiting reactors (MV/LV custom builds) (струм 3000-4000 А, індуктивність 0,2-1,0 мГн);
- Siemens reactor systems for SFC / drives / substations або 4EP / 4EU / 4ET series (custom high-current reactors) (струм 2500-3150 А, індуктивність 0,2-1,0 мГн);
- REO High Power Chokes / CNW / NCNW custom series або Water-cooled / air-core reactors (струм 3000-5000 А, індуктивність 0,1-2,0 мГн);
- MTE RL / RLW series (industrial reactors) або HPS line reactors (heavy duty) (струм до 3000 А, індуктивність 0,1-1,0 мГн).

На виході перетворювача частоти застосовується моторний дросель або du/dt фільтр на струм 400 А, що зменшує імпульсні перенапруги, захищає ізоляцію двигуна та підвищує його ресурс.

Згладжуючий дросель обираємо за номінальним струмом.

Обираємо згладжуючий дросель РТТ 0,38-400 з такими технічними даними:

- номінальний струм – 400А;
- індуктивність – 0,22 мГн;
- активний опір – 0,02 Ом.

Зарубіжні аналоги:

- Siemens 6RX1800-4DK07 (номінальний струм 400 А, індуктивність 0,089 мГн, напруга 400 В);

- Allen-Bradley 1321-3RB400-B : ABB / Allen-Bradley (еквівалентний рівень ABB) (номінальний струм 360-400 А, індуктивність 0,035 мГн, напруга 480 В);
- REO CNW / NCNW 400A series : REO (Німеччина / промисловий стандарт) (номінальний струм 400 А, індуктивність 0,074 мГн);
- RTOX / RTLX 400 A series : Polylux (Європа / універсальні реактори) (номінальний струм 400 А, індуктивність 0,055-0,074 мГн).

ВИСНОВКИ

У даному розділі виконано вибір основного обладнання електропривода насосного агрегату. На основі технічних параметрів насоса DHV 250-370PA визначено необхідну потужність приводного двигуна та обрано асинхронний електродвигун ОМТ1 315-4, параметри якого забезпечують надійну та ефективну роботу насосної установки.

З урахуванням вимог технологічного процесу, необхідності плавного регулювання продуктивності та сучасних вимог до енергозбереження для керування насосним агрегатом прийнято систему електропривода за схемою «перетворювач частоти – асинхронний двигун» (ПЧ–АД). Як засіб керування обрано перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, який спеціалізований для насосних та вентиляційних установок і забезпечує високі енергетичні показники роботи системи.

Застосування частотного регулювання дозволяє реалізувати плавне та безступінчасте керування швидкістю обертання двигуна, знизити пускові струми, зменшити механічні навантаження на обладнання та підвищити енергоефективність насосного агрегату. Крім того, система ПЧ–АД характеризується компактністю, надійністю та зручністю експлуатації.

Використання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у поєднанні з сучасним перетворювачем частоти забезпечує отримання регульовальних характеристик, близьких до характеристик привода постійного

струму, при значно простішій конструкції, меншій вартості та вищій експлуатаційній надійності електропривода.

2.1 Електропривод насоса з перетворювачем частоти та реакторами

Для привода насосного агрегату НА 4 КП Кривбасводоканал вибрано частотно-регульований електропривод ПЧ-АД (рис. 2.1).

На рис. 2.1 представлені наступні елементи, типи та призначення яких показано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Типи та призначення елементів схеми електропривода ПЧ-АД насоса

Назва елементів схеми	Позначення на схемі	Тип	Призначення
Автоматичний вимикач	QF1	Compact NSX630N	захист ввідної лінії
Вхідний струмообмежуючий реактор 3-5%	L1 (R1)	PTCTГ10-2500-0,20 або REO High Power Chokes / CNW / NCNW custom series	обмеження пускових струмів та зниження гармонік у мережі
Перетворювач частоти	ПЧ	Danfoss VLT AQUA Drive FC-202	регулювання швидкості обертання двигуна
Вихідний згладжуючий дросель (du/dt фільтр)	L2 (R2)	PTT 0,38-400 або REO CNW / NCNW 400A series	захист двигуна
Асинхронний електродвигун	М	OMT1 315-4	привод насосного агрегата (установки)
Насос	Н	DHV 250-370PA	перекачування чистої питної води

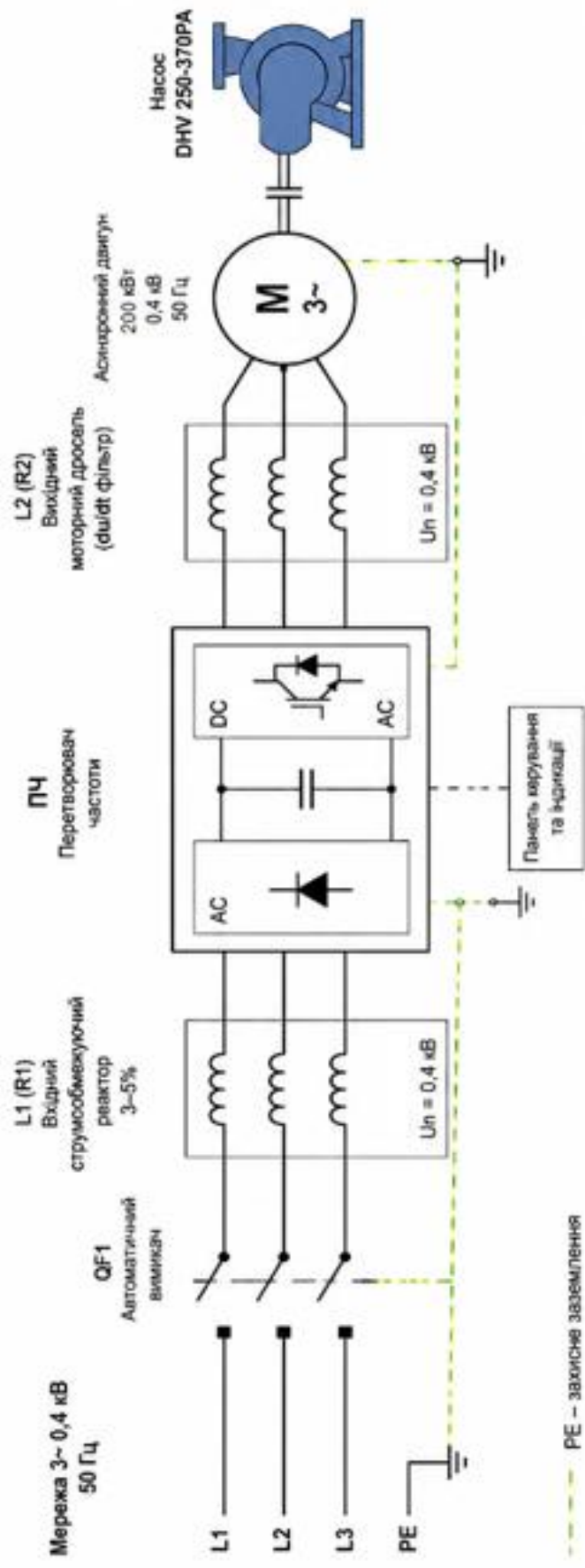


Рисунок 2.1 – Схема електропривода насоса з перетворювачем частоти та реакторами

Для захисту ввідної лінії перетворювача частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC-202, що живить насос DHV 250-370PA, вибраний автоматичний вимикач типу Compact NSX630N на номінальний струм 630 А з відключаючою здатністю 50 кА. Вибір виконаний виходячи з робочого струму привода 400–500 А та необхідного запасу по струму для надійної роботи електропривода.

Для приводу насосної установки DHV 250-370PA застосований асинхронний електродвигун ОМТ1 315-4, який забезпечує передачу механічної енергії на вал насоса та підтримання необхідних технологічних параметрів роботи системи водовідливу.

Двигун працює спільно з перетворювачем частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, що дозволяє здійснювати плавний пуск, регулювання частоти обертання та зниження пускових струмів. Використання частотно-керованого електропривода забезпечує підвищення енергоефективності насосного агрегату, покращення умов експлуатації обладнання та зменшення динамічних навантажень на механічну частину установки.

2.2 Схема заміщення та розрахунок механічних характеристик електропривода насосної установки DHV 250-370PA

2.2.1 Параметри схеми заміщення АД

Схема заміщення (Т-подібна) показана на рис. 2.2, де U_1 – первинна фазна напруга; I_1 – фазний струм статора; I_2' – зведений фазний струм ротора; I_μ – струм намагнічування; R_1 – первинний активний опір; R_2' – зведений вторинний активний опір; X_1 – первинний реактивний опір розсіювання; X_2' – зведений вторинний реактивний опір розсіювання; X_μ – реактивний опір контуру намагнічування.

За паспортними даними електродвигуна ОМТ1 315-4 (див. табл. 1.2) проведемо розрахунок параметрів вище наведеної схеми заміщення (табл. 2.2, 2.3).

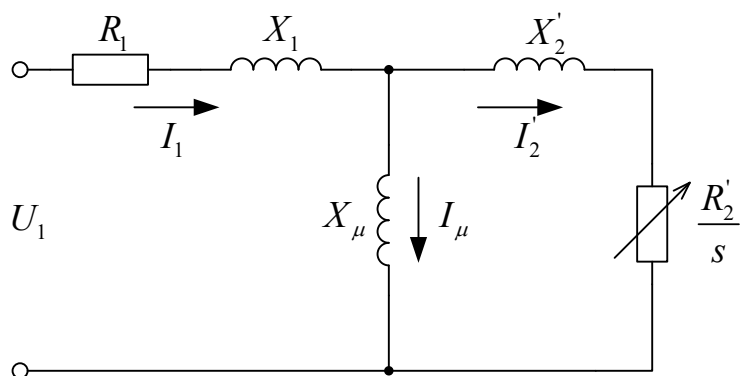


Рисунок 2.2 - Т-подібна схема заміщення асинхронного електродвигуна
ОМТ1 315-4

Таблиця 2.2 – Необхідні розрахункові параметри схеми заміщення
електродвигуна ОМТ1 315-4

Параметр	Формула	Номер
Синхронна швидкість	$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}$	(2.1)
Номінальна швидкість	$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}$	(2.2)
Номінальне ковзання	$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}$	(2.3)
Номінальний момент	$M_n = 1000 \cdot \frac{P_n}{\omega_n}$	(2.4)
Номінальний струм статора	$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1n} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n}$ де P_n – номінальна потужність двигуна; U_{1n} – номінальна фазна напруга; η_n – номінальний к.к.д.; $\cos \varphi_n$ – номінальний коефіцієнт потужності	(2.5)
Струм статора при завантаженні 75%	$I_{1p} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1n} \cdot \eta_{p*} \cdot \cos \varphi_{p*}}$ де $p_* = P/P_n$ – коефіцієнт завантаження АД; η_{p*} – ККД при 75% завантаження;	(2.6)

	$\cos\varphi_{p_*}$ – коефіцієнт потужності при 75% завантаження	
Струм неробочого ходу статора	$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p}^2 - I_{1h}^2 \cdot \left[p_* \cdot (1 - s_h) / p_* \cdot (1 - s_h) \right]^2}{1 - \left[p_* \cdot (1 - s_h) / p_* \cdot (1 - s_h) \right]^2}}$	(2.7)
Критичне ковзання	$s_\kappa = s_h \times \left(k_m + \sqrt{k_m^2 - [1 - 2 \cdot s_h \cdot \beta \cdot (k_m - 1)]} \right) \times \frac{1}{1 - 2 \cdot s_h \cdot \beta \cdot (k_m - 1)}$ де k_m – перевантажувальна здатність АД; $\beta = 1,3$ – коефіцієнт, що залежить від типів АД.	(2.8)
Конструктивний коефіцієнт C_1	$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1h}}$ де k_i – кратність пускового струму	(2.9)
Конструктивний коефіцієнт A_1	$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1h}^2 \cdot (1 - s_h)}{2 \cdot C_1 \cdot k_m \cdot P_h}$	(2.10)
Активний опір ротора, приведений до обмотки статора АД	$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_\kappa) \cdot C_1}$	(2.11)
Активний опір обмотки статора	$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta$	(2.12)
Конструктивний параметр γ	$\gamma = \sqrt{(1/s_\kappa^2) - \beta^2}$	(2.13)
Індуктивний опір короткого замикання $X_{\kappa h}$	$X_{\kappa h} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'$	(2.14)

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведеної до статорної	$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa H}$	(2.15)
ЕРС ланки намагнічування	$E_m = \sqrt{(U_{1n} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{1n})^2 + \sqrt{+(U_{1n} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - X_1 \cdot I_{1n})^2}}$	(2.16)
Індуктивний опір контуру намагнічування	$X_\mu = \frac{E_m}{I_0}$	(2.17)

Таблиця 2.3 – Необхідні розрахункові параметри схеми заміщення електродвигуна ОМТ1 315-4

Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
Синхронна швидкість	$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08$	1/с
Номінальна швидкість	$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 1487}{30} = 156,135$	1/с
Номінальне ковзання	$s_n = \frac{157,08 - 156,135}{157,08} = 0,87$	в.о.
Номінальний момент	$M_n = 1000 \cdot \frac{200}{156,135} = 1281$	Н·м
Номінальний струм статора	$I_{1n} = \frac{200000}{3 \cdot 400 \cdot 0,96 \cdot 0,89} = 337,9$	А
Струм статора при завантаженні 75%	$I_{1p} = \frac{0,75 \cdot 200000}{3 \cdot 400 \cdot 0,96 \cdot 0,89} = 258$	А

Струм неробочого ходу статора	$I_0 = \sqrt{\frac{258^2 - 337,9^2 \cdot [0,75 \cdot (1 - 0,87) / 0,75 \cdot (1 - 0,87)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,87) / 0,75 \cdot (1 - 0,87)]^2}} =$ $= 79,6$	А
Критичне ковзання	$s_{\kappa} = 0,87 \times$ $\times \frac{\left(3,3 + \sqrt{3,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,87 \cdot 1,3 \cdot (3,3 - 1)]}\right)}{1 - 2 \cdot 0,87 \cdot 1,3 \cdot (3,3 - 1)} =$ $= 0,059$	В.О.
Конструктивний коефіцієнт C_1	$C_1 = 1 + \frac{79,6}{2 \cdot 6,1 \cdot 337,9} = 1,0193$	В.О.
Конструктивний коефіцієнт A_1	$A_1 = \frac{3 \cdot 400^2 \cdot (1 - 0,87)}{2 \cdot 1,0193 \cdot 3,3 \cdot 200000} = 0,1179$	В.О.
Активний опір ротора, приведений до обмотки статора АД	$R_2' = \frac{0,1179}{(1,3 + 1/0,059) \cdot 1,0193} = 0,0063$	Ом
Активний опір обмотки статора	$R_1 = 1,0193 \cdot 0,0063 \cdot 1,3 = 0,084$	Ом
Конструктивний параметр γ	$\gamma = \sqrt{(1/0,059^2) - 1,3^2} = 16,9$	
Індуктивний опір короткого замикання $X_{\kappa\kappa}$	$X_{\kappa\kappa} = 16,9 \cdot 1,0193 \cdot 0,0063 = 0,1092$	Ом
Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведеної до статорної	$X_1 = 0,42 \cdot 0,1092 = 0,059$	Ом
ЕРС ланки намагнічування	$E_m = \sqrt{(400 \cdot 0,89 - 0,084 \cdot 337,9)^2 +}$	В

	$\sqrt{+(400 \cdot \sqrt{1-0,89^2} - 0,059 \cdot 337,9)^2} = 221,7$	
Індуктивний опір контуру намагнічування	$X_{\mu} = \frac{221,7}{79,6} = 2,79$	Ом

2.2.2 Природні характеристики електродвигуна насосної установки

Для визначення необхідних характеристик асинхронного електродвигуна використовується символний (комплексний) метод розрахунку кіл змінного струму (табл. 2.4). Обчислення (2.18)-(2.30) виконані за допомогою програмного середовища MATLAB.

Таблиця 2.4 - Розрахункові параметри схеми заміщення електродвигуна ОМТ1 315-4 символним (комплексним) методом

Комплексне значення параметру	Формула	Номер
Опір ротора	$z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$	(2.18)
Опір кола намагнічування	$z_{\mu} = j \cdot x_{\mu}$	(2.19)
Опір кола ротора	$z_{20}(s) = \frac{z_2(s) \cdot z_{\mu}}{z_2(s) + z_{\mu}}$	(2.20)
Опір кола статора	$z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$	(2.21)
Повний опір	$z_0(s) = z_1(s) + z_{20}(s)$	(2.22)
Струм статора	$I_1(s) = \frac{U_1}{z_0(s)}$	(2.23)
Напруга на клеммах роторного кола	$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot z_1(s)$	(2.24)
Струм ротора	$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{z_2(s)}$	(2.25)

Електромагнітний момент	$M_{EM}(s) = 3 \cdot \left(I_2(s) \right)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$	(2.26)
Спожита активна потужність	$P_{AD}(s) = 3 \cdot \operatorname{Re} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$	(2.27)
Спожита реактивна потужність	$Q_{AD}(s) = 3 \cdot \operatorname{Im} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$	(2.28)
ККД	$\eta(s) = \frac{M_{EM}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1-s)}{P_{AD}(s)}$	(2.29)
Коефіцієнт потужності	$k_m(s) = \cos \left(\arg \left(z_0(s) \right) \right)$	(2.30)

На рис. 2.3–2.9 представлені результати розрахунків швидкісних, електромеханічних та енергетичних характеристик приводного електродвигуна насосної установки.

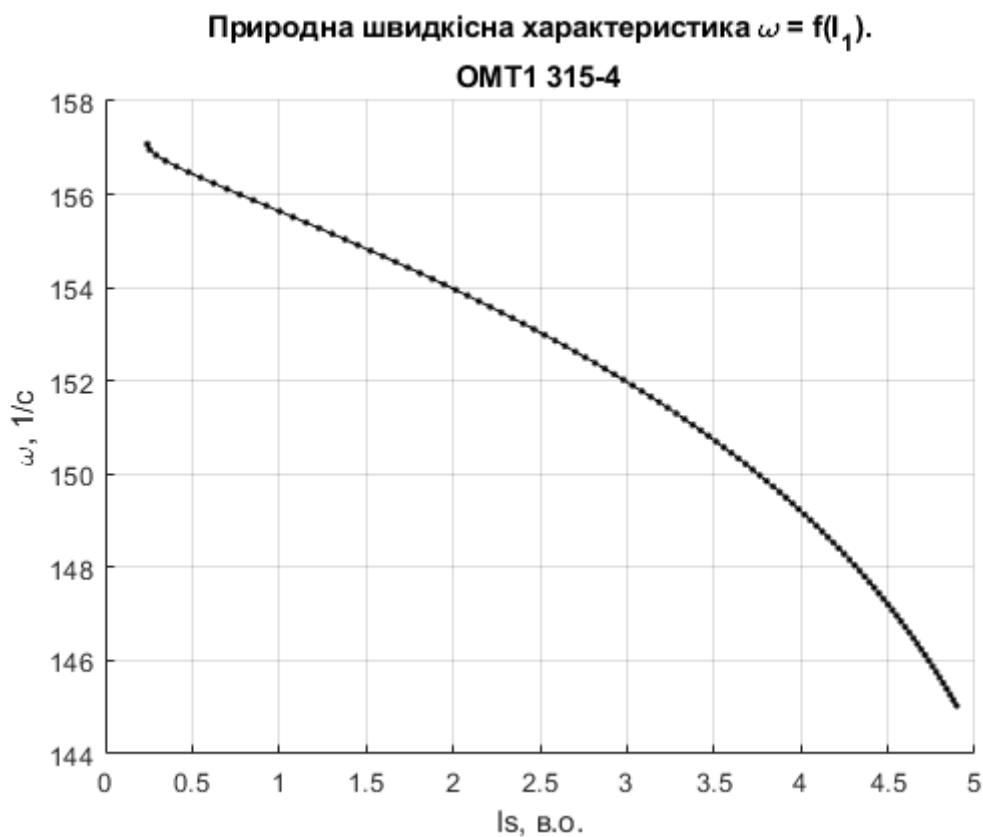


Рисунок 2.3 – Природна швидкісна характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА за струмом статора

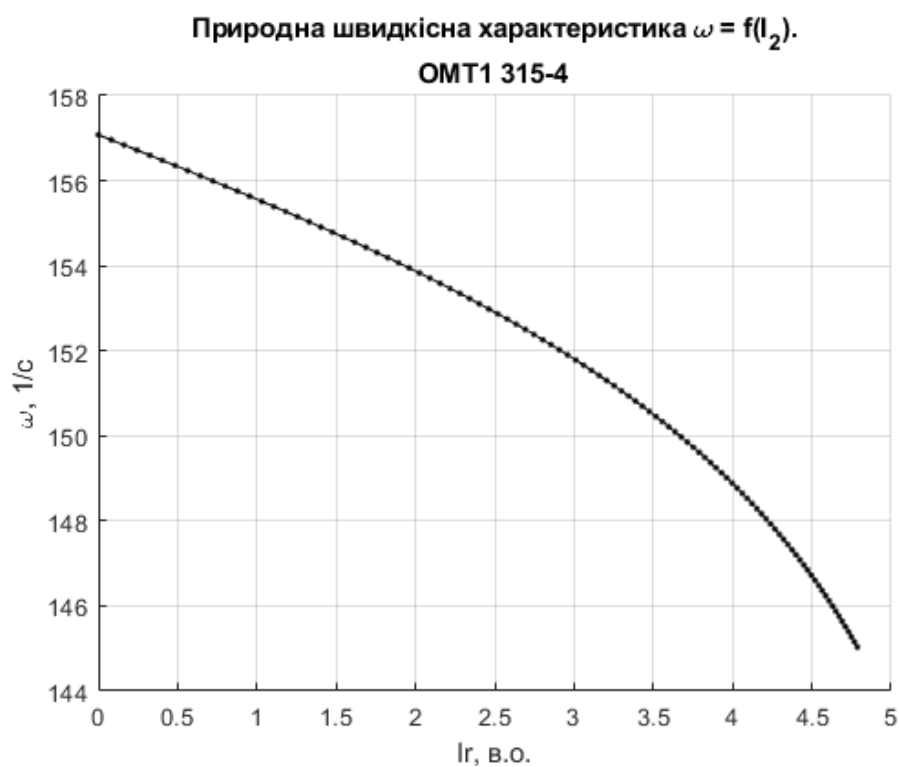


Рисунок 2.4 – Природна швидкісна характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА за струмом ротора

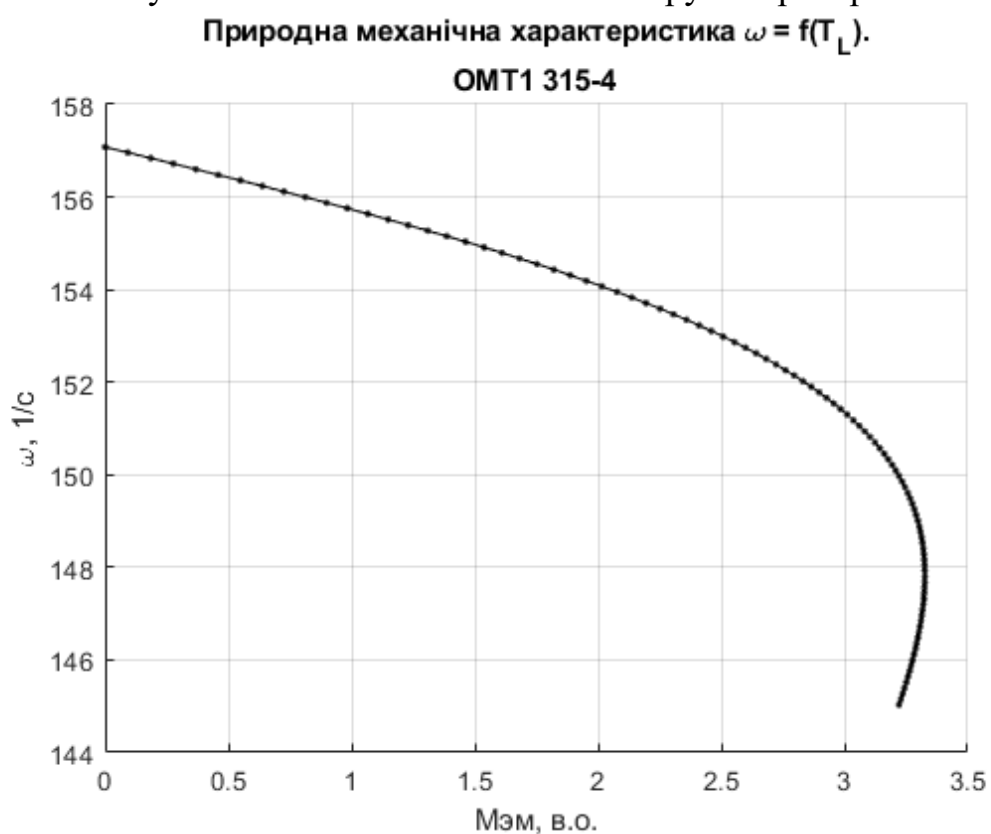


Рисунок 2.5 – Природна механічна характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА

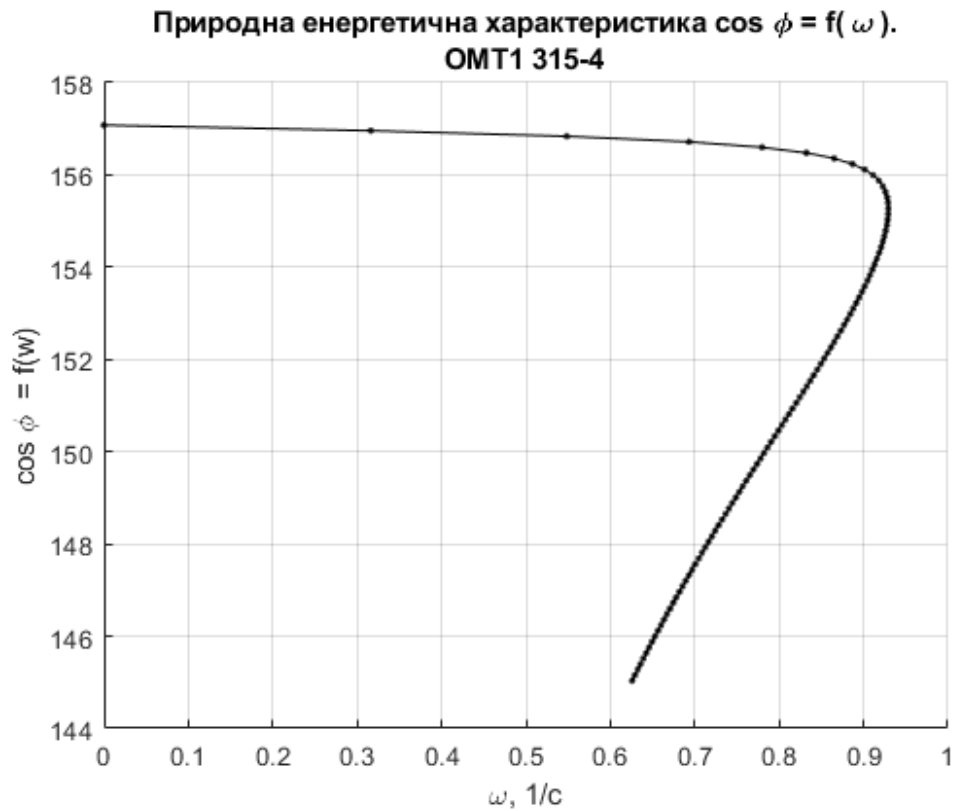


Рисунок 2.6 – Природна енергетична характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА за коефіцієнтом потужності

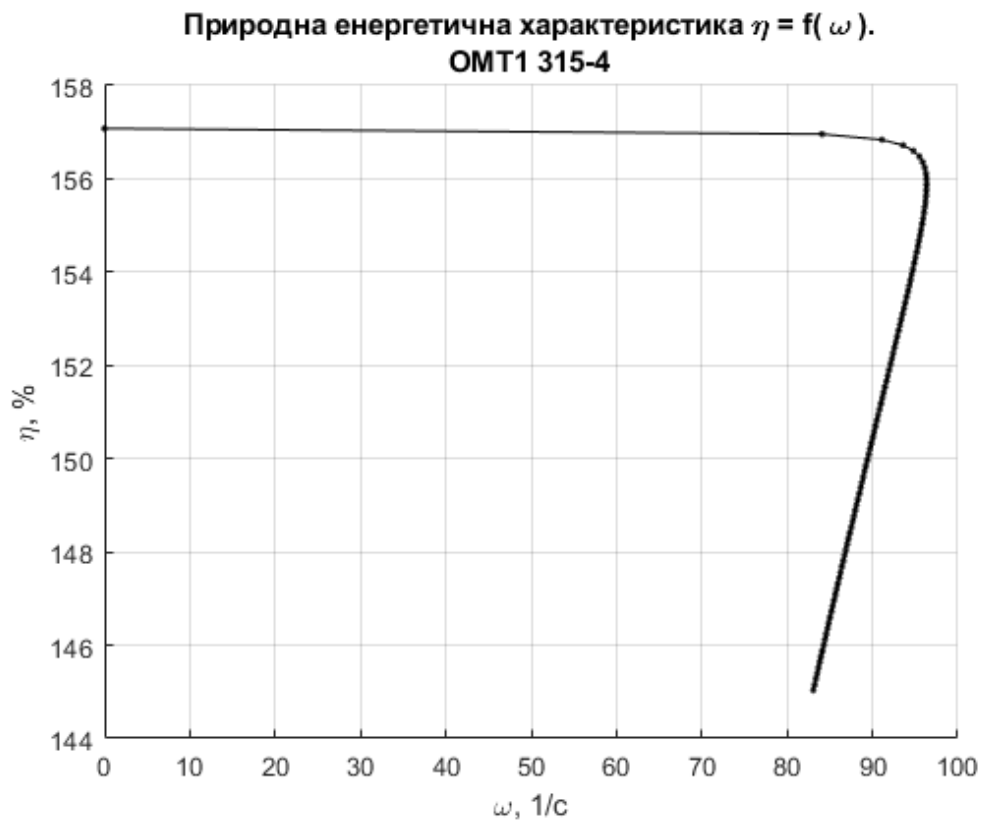


Рисунок 2.7 – Природна енергетична характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА за ККД

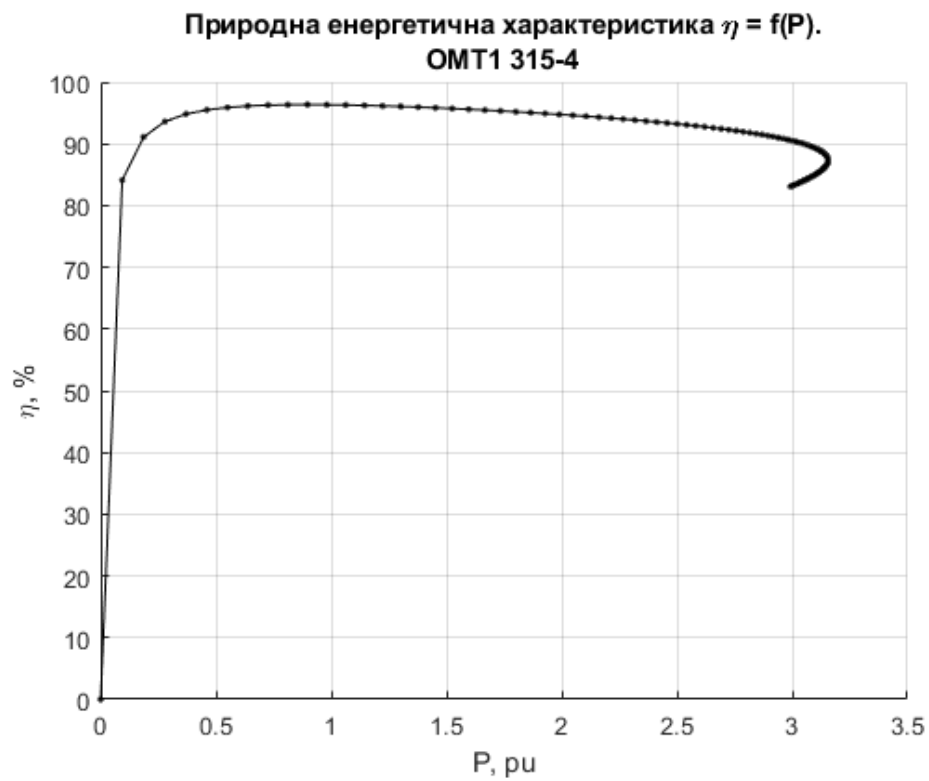


Рисунок 2.8 – Природна енергетична характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА за ККД

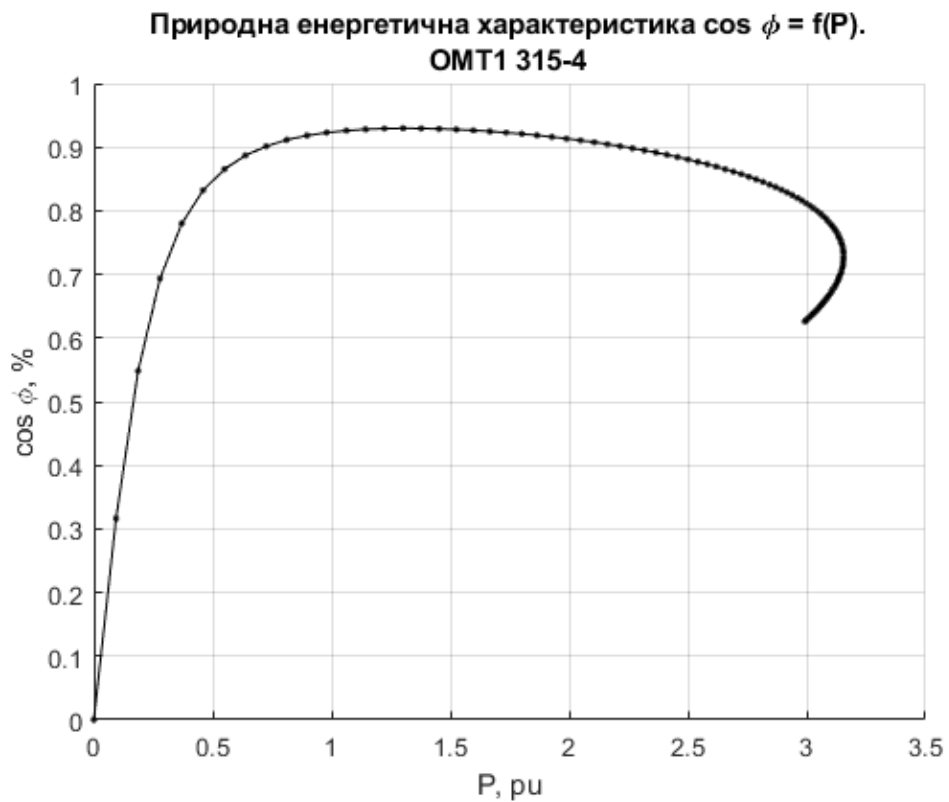


Рисунок 2.9 – Природна енергетична характеристика двигуна насосної установки DHV 250-370РА за коефіцієнтом потужності

2.2.3 Штучні характеристики електропривода ПЧ-АД насосної установки

У разі частотного керування АД необхідно враховувати:

- 1) Індуктивні опори змінюються пропорційно зміні частоти живлення.
- 2) В розімкненій системі керування взаємопов'язане регулювання напруги та частоти:

$$\frac{U_1}{U_{1н}} = \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^m, \quad (2.31)$$

де $m = 2$ – для насосних установок.

Розрахунок штучних характеристик виконується також за допомогою символного (комплексного) методу аналізу кіл змінного струму. (табл. 2.4). Обчислення (2.18)-(2.30) виконані за допомогою програмного середовища MATLAB при частотах від 50 Гц до 10 Гц з кроком $\Delta f = 10$ Гц та показані на рис. 2.10 – 2.13.

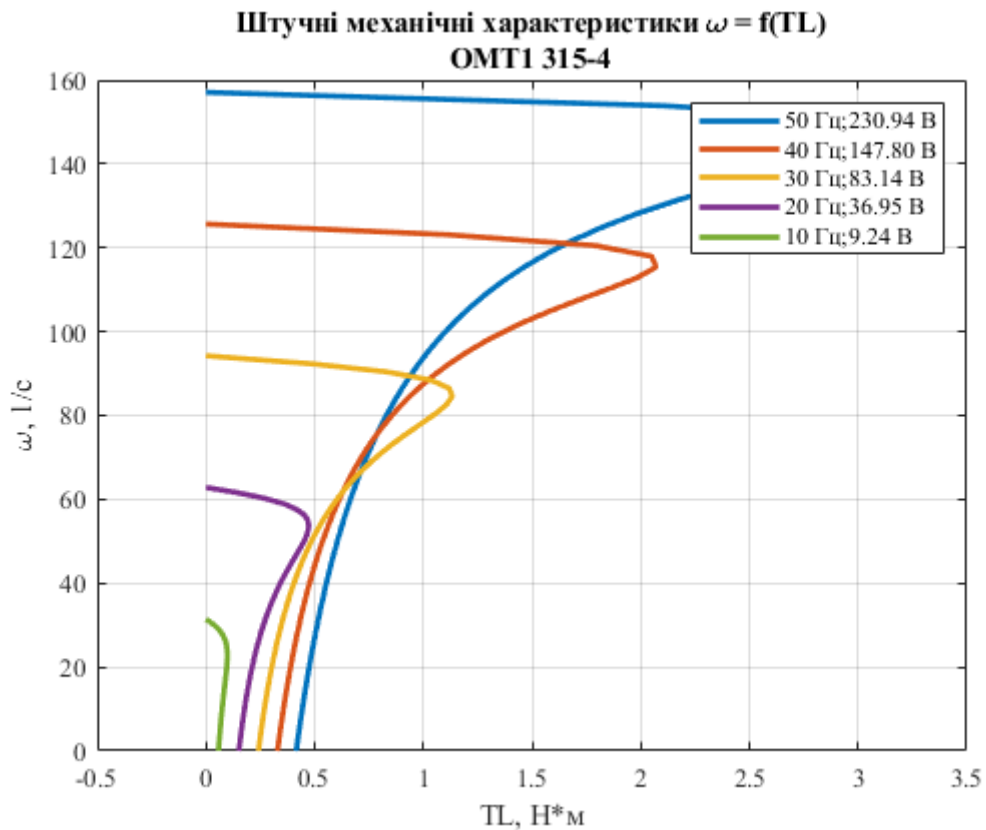


Рисунок 2.10 – Механічні характеристики при частотному регулюванні

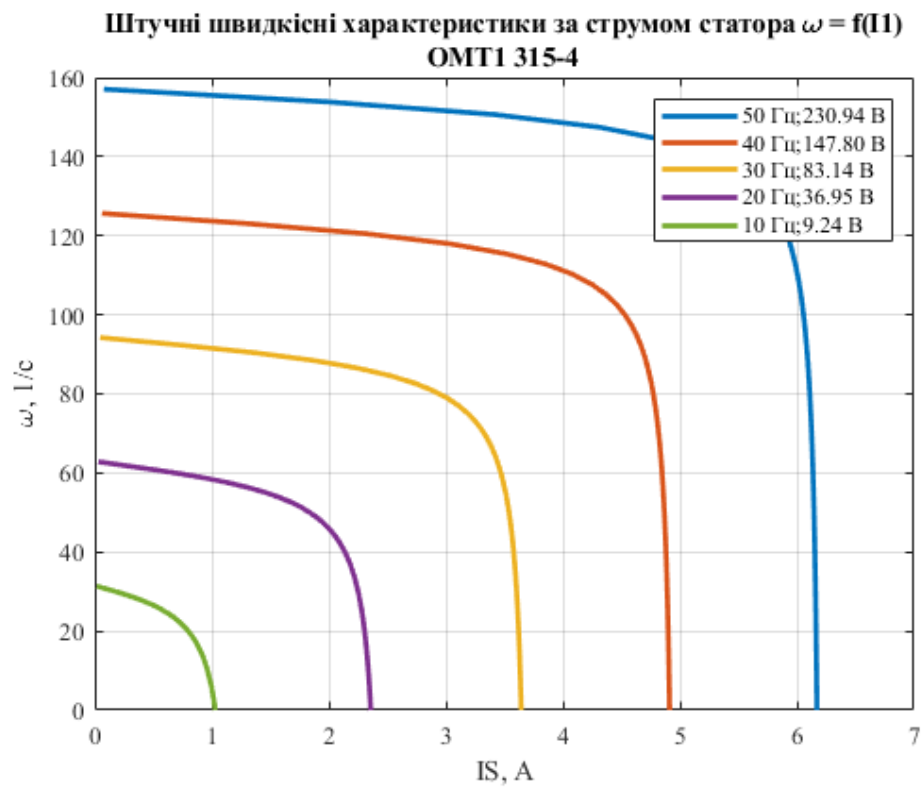


Рисунок 2.11 - Швидкісні характеристики при частотному регулюванні
(за струмом статора)

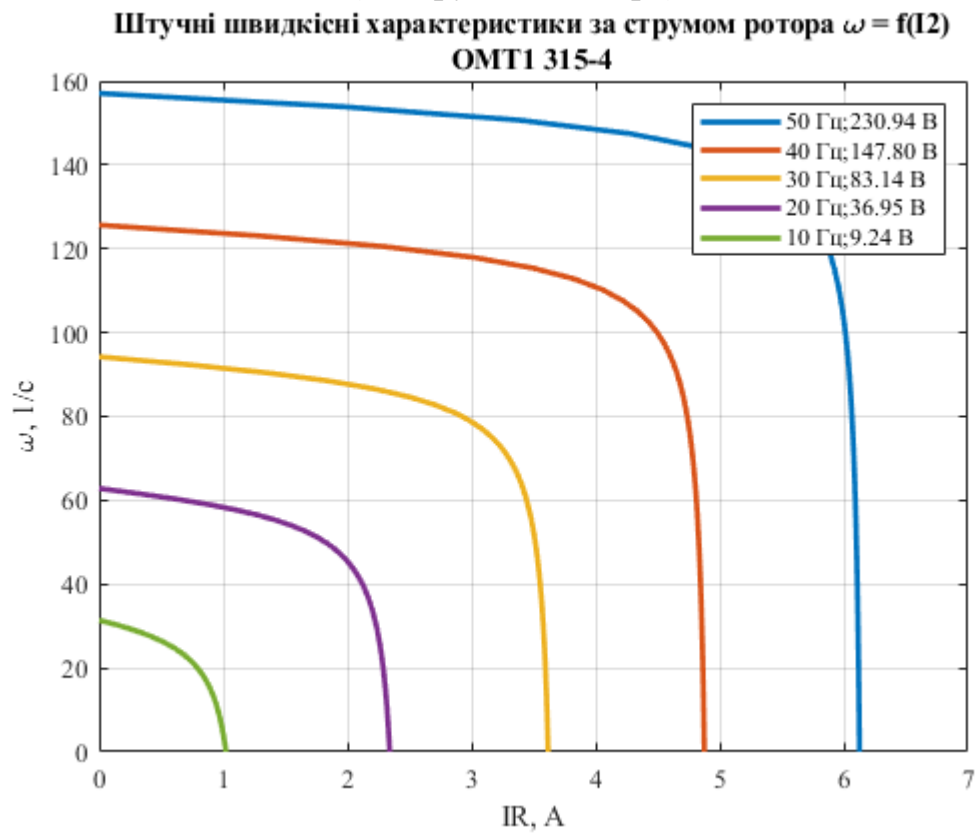


Рисунок 2.12 - Швидкісні характеристики при частотному регулюванні
(за струмом ротора)

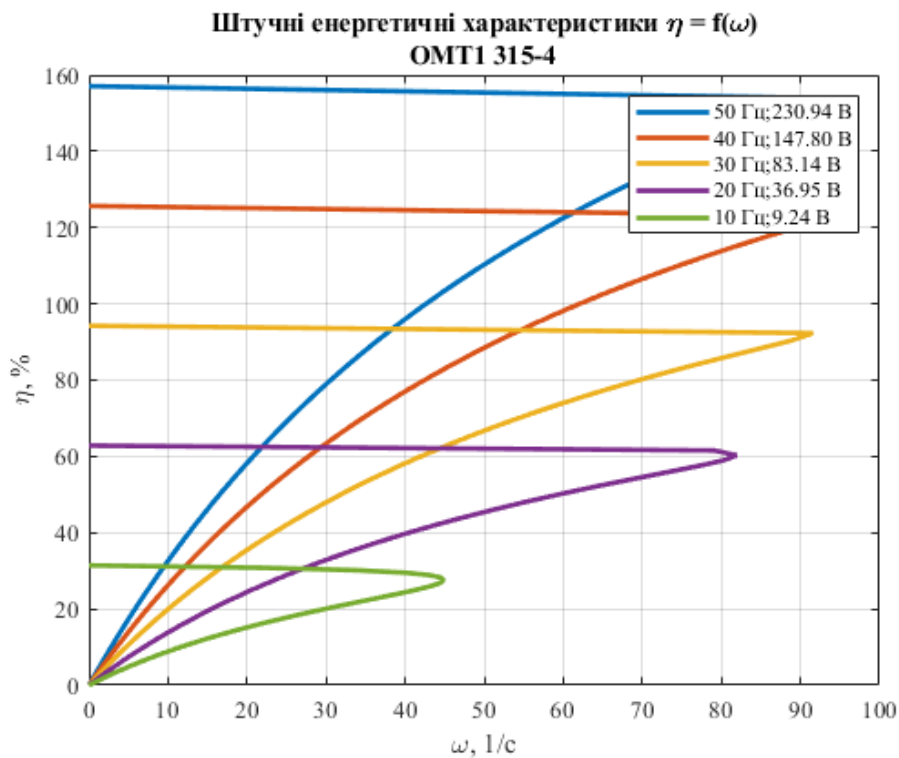


Рисунок 2.13 - Енергетичні характеристики при частотному регулюванні

2.3 Моделювання роботи насосної установки в середовищі MATLAB/Simulink

Розроблена математична модель прямого пуску приводного двигуна насосної установки з урахуванням (2.31). При моделюванні використовувались елементи з бібліотеки SimPower. Сама модель зображено на рис. 2.14, а результати моделювання – на рис. 2.15. На рис. 2.15 спостерігаються осцилограми зміни швидкості АД, електромагнітного моменту, струмів ротора та статора.

На рис. 2.16 представлена імітаційна математична модель частотно-керованого асинхронного електропривода насосного агрегату з векторною системою керування.

На рис. 2.17 наведено часові діаграми струму статора, частоти обертання та електромагнітного моменту під час пуску, а також при зниженні швидкості електропривода насоса з 1500 об/хв до 1000 об/хв протягом 2 с за наявності вентиляторного моменту опору.

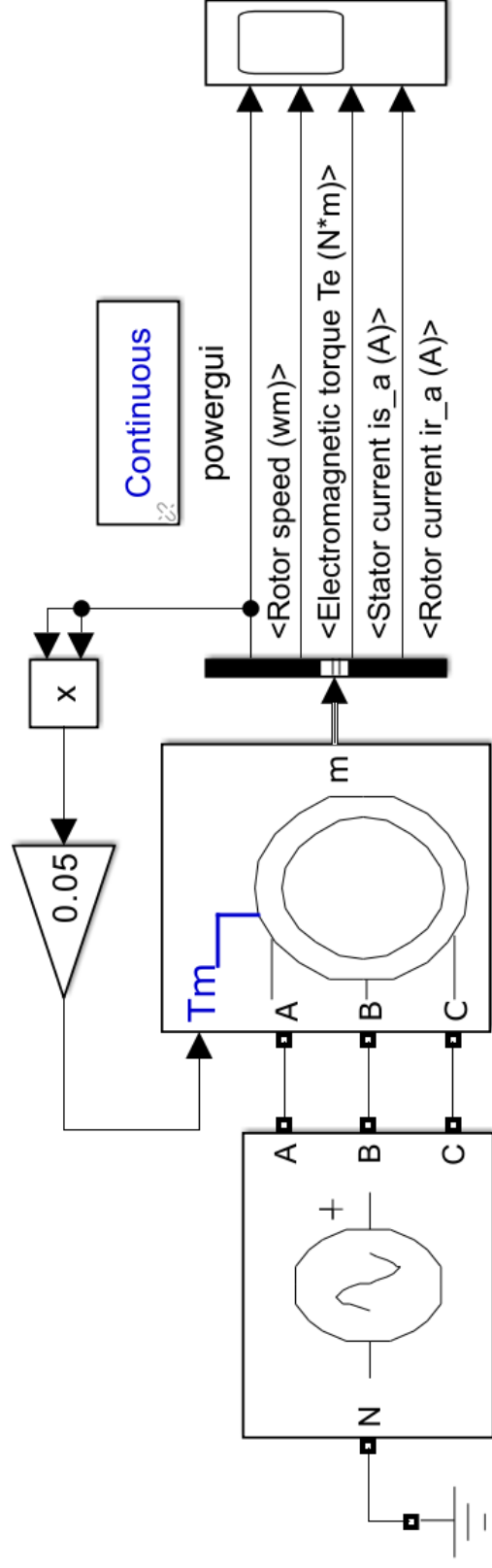


Рисунок 2.14 – Імітаційна модель асинхронного електропривода насосної установки з урахуванням реактивного моменту опору

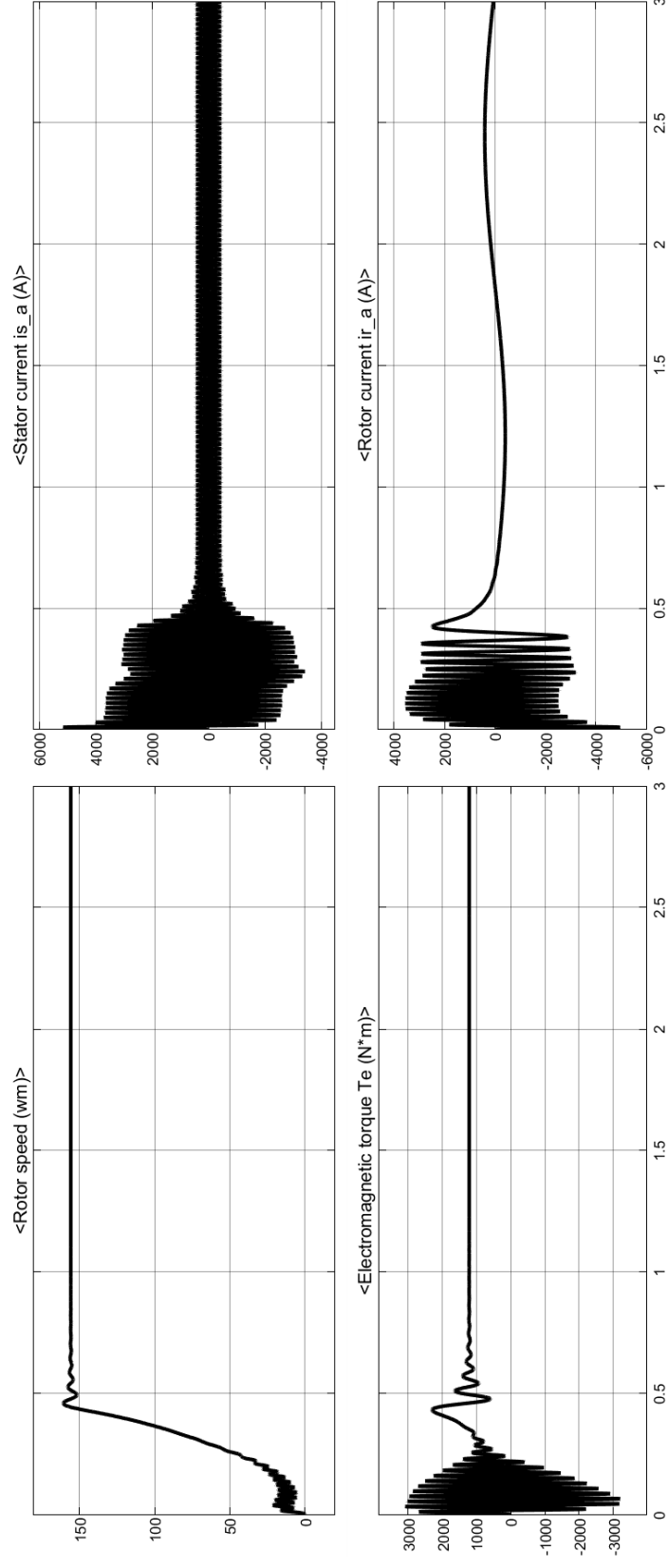


Рисунок 2.15 – Моделювання прямого пуску електропривода насосної установки з вентиляторним характером моменту опору

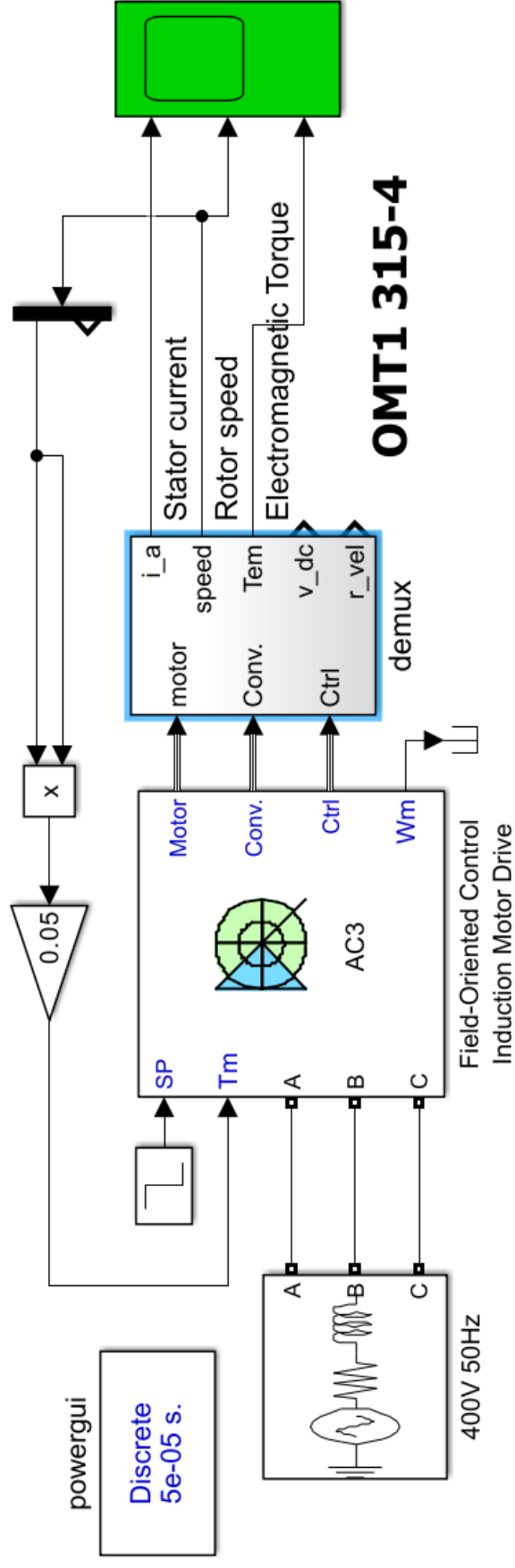


Рисунок 2.16 – Імітаційна реалізація математичної моделі асинхронного електропривода насосної установки з частотним регулюванням

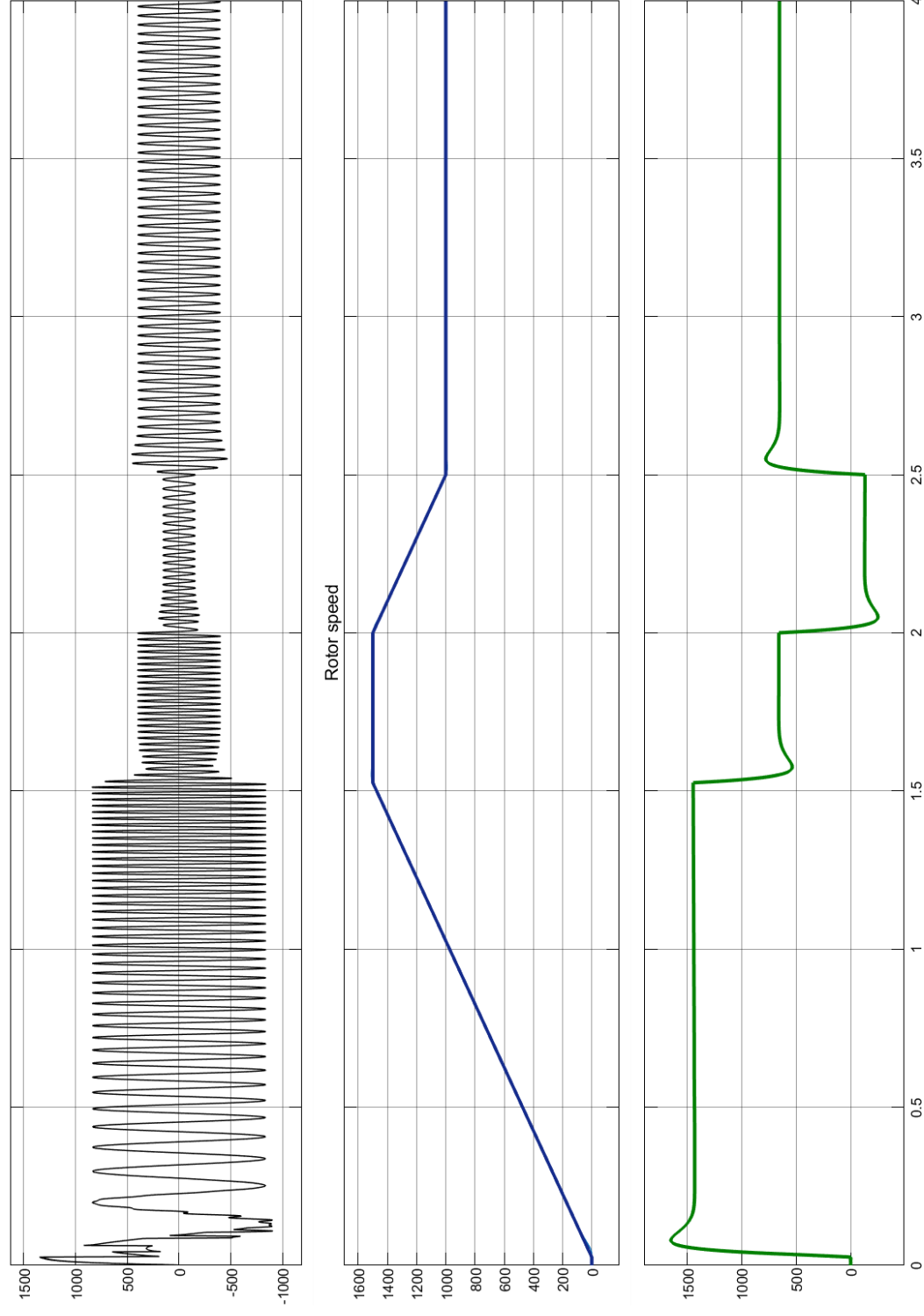


Рисунок 2.17 – Графіки зміни струму статора, частоти обертання та електромагнітного моменту в процесі пуску насосної установки

ВИСНОВКИ

У даному розділі виконано розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна та побудовано його статичні характеристики.

Встановлено, що механічні характеристики системи ПЧ–АД є більш жорсткими порівняно з характеристиками звичайного асинхронного двигуна, що забезпечує стабільну роботу привода. Обрана система частотного регулювання дозволяє здійснювати плавну зміну швидкості в широкому діапазоні, що є важливою перевагою для насосного електропривода.

Аналіз енергетичних характеристик показав, що коефіцієнт корисної дії змінюється залежно від частоти регулювання та знижується при її зменшенні, однак у зоні, близькій до номінального режиму, зберігається високий рівень ККД, що підтверджує енергоефективність системи в робочих режимах.

За результатами дослідження перехідних процесів встановлено, що їх тривалість становить приблизно 1–2 с. Перехідні процеси є аперіодичними, плавними та без значних коливань швидкості й струму. Спостережувані пускові струми перевищують номінальні значення приблизно у сім разів, однак залишаються допустимими для вибраного обладнання та обумовлені роботою системи у розімкненому режимі керування.

Отримані результати підтверджують відповідність динамічних і енергетичних показників привода вимогам технологічного процесу та свідчать про його високу ефективність і надійність у роботі.

3.1 Центральна насосна станція КП Кривбасводоканал: схеми електропостачання та вибір трансформатора

Однолінійні схеми електропостачання Центральної насосної станції (6 кВ та 0,4 кВ) наведені на рис. 3.1, 3.2.

Електропостачання споживачів виконується від ПС «Саксаганська» по лінії електропостачання (ЛЕП) 35 кВ. Схема має 2 вводи (ввод №1, ввод №2), 2 секції 6 кВ.

Розрахунок споживаної електроприймачами потужності виконується на основі їх установленної потужності з урахуванням коефіцієнта попиту для кожного окремого споживача. Для визначення необхідної потужності трансформаторів здійснюється розрахунок електричних навантажень, що базується на сумарній установленій потужності всіх споживачів.

Для однорідних груп електроспоживачів робоче навантаження визначають за активною, реактивною та повною потужністю.

Номінальна потужність трансформаторів приймається з урахуванням повної споживаної потужності навантаження:

$$S_T = \frac{S}{\eta_M \cdot K_{ПВ}} . \quad (3.1)$$

Запишемо паспортні дані трансформаторів, які встановлені на Центральній насосній станції КП «Кривбасводоканал» (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Паспортні параметри встановлених на Центральній насосній станції КП Кривбасводоканал трансформаторів

Тип	S _н , кВА	U _н , кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, u _к , %	Струм НХ, I _{НХ} , %
		U _{1н}	U _{2н}	ΔP _{xx}	ΔP _{кз}		
ТМ-160/6,3	160	6,3	0,4	0,42	1,97	6,5	2,6
ТЗС-630/10	630	6,3	0,4	2,0	7,3	5,5	1,5
ТМ-4000/35	4000	35	6,3	5,7	33,5	7,5	1,0

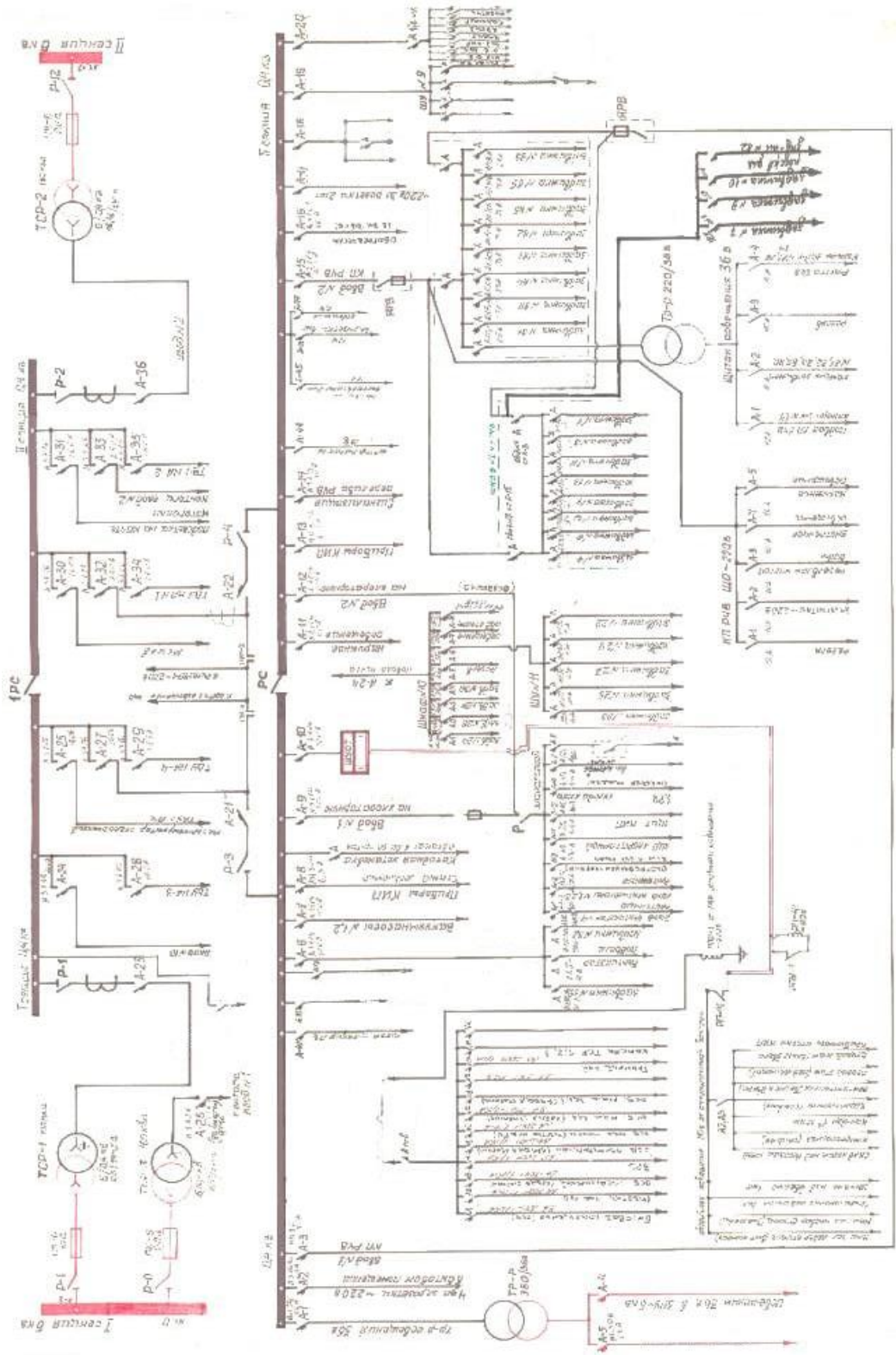


Рисунок 3.2 – Рисунок 2.1 – Однолінійна схема електропостачання ПС «Саксаганська» (0,4 кВ)

3.2 Аналіз та опис схеми електропостачання насосної станції

Електропостачання насосної станції здійснюється відповідно до затвердженої режимної схеми, яка передбачає живлення від двох незалежних вводів.

Перший робочий ввід (комірка №4) живиться від повітряної лінії 35 кВ Держинська-31 (ліва нитка) через силовий трансформатор потужністю 4000 кВА, встановлений на відкритому розподільному пристрої 35/6 кВ насосної станції. Допустимий струм навантаження трансформатора на стороні 6 кВ становить 366 А.

Другий робочий ввід (комірка №10) виконано кабельною лінією марки АСБ 6-3×120 довжиною 1392 м, яка підключена до підстанції Пролетарська 35/6 кВ (комірка №37).

Нормальний режим роботи відкритого розподільного пристрою 35 кВ передбачає ввімкнений стан лінійного роз'єднувача Л-Держинська-31-0 та вимикача Т-31.

У закритому розподільному пристрої 6 кВ у робочому режимі ввімкнені роз'єднувачі Р-1, Р-2, Р-5, Р-6, Р-7, вимикач Т-61, вимикачі працюючих насосних агрегатів та вимикач ВМ-6. Водночас вимикач С-61 і вимикачі резервних агрегатів перебувають у вимкненому стані.

Перемикання живлення насосної станції між вводами виконується після погодження з начальником ділянки та черговим диспетчером підприємства.

Переведення живлення з вводу №1 на ввід №2 здійснюється в такій послідовності:

- зупинка одного з працюючих насосних агрегатів (№3 або №4);
- відключення вимикачів Т-61 та Т-61-1;
- увімкнення вимикача С-61;
- повторний запуск агрегату №3 або №4.

Переведення живлення з вводу №2 на ввід №1 виконується таким чином:

- зупинка працюючого насосного агрегату №1 або №2;
- відключення вимикача ВМ-6 та роз'єднувачів Р-10 і Р-11;

- увімкнення вимикача С-61;
- повторний запуск агрегату №1 або №2.

У разі аварійного відключення або виникнення нештатної ситуації перемикання живлення між вводами допускається виконувати без попереднього погодження з відповідальними особами з подальшим обов'язковим інформуванням керівництва та диспетчерської служби.

3.3 Схема живлення власних потреб насосної станції

Живлення щита 0,4 кВ здійснюється від двох понижувальних трансформаторів ТСП-1 та ТСП-2 номінальною потужністю по 100 кВА кожний з коефіцієнтом трансформації 6/0,4 кВ.

Трансформатор ТСП-1 приєднаний до I секції шин ЗРУ-6 кВ через комірку №1, тоді як трансформатор ТСП-2 підключений до II секції шин ЗРУ-6 кВ через комірку №12. Допустимий струм навантаження кожного трансформатора становить 10 А на стороні високої напруги та 144 А на стороні низької напруги. Робота трансформаторів у паралельному режимі не передбачається.

У штатному режимі експлуатації схема живлення щита 0,4 кВ характеризується такими умовами:

- секційний рубильник СР перебуває у вимкненому стані;
- I секція щита живиться від трансформатора ТСП-1, при цьому ввімкнені автоматичні вимикачі А-23, А-26, А-27, А-21 та рубильники Р-1 і Р-3;
- II секція щита отримує живлення від трансформатора ТСП-2, при цьому ввімкнені автоматичні вимикачі А-36, А-33, А-32, А-22 та рубильники Р-2 і Р-4.

Переведення навантаження з одного трансформатора на інший виконується в такій послідовності:

- відключається навантаження секції, що виводиться з роботи;

- вимикається автоматичний вимикач та відповідний рубильник секції (А-23 і Р-1 для І секції або А-36 і Р-2 для ІІ секції);

- вмикається секційний рубильник СР, через який забезпечується живлення обох секцій від працюючого трансформатора.

Для підвищення надійності електропостачання в схемі передбачено автоматичне введення резерву (АВР) для щитка аварійного освітлення ЩОА. Від цього щитка здійснюється живлення внутрішнього освітлення чергового приміщення, машинної зали та закритого розподільного пристрою 6 кВ.

У нормальному режимі щиток ЩОА живиться від одного з трансформаторів власних потреб – ТСП-1 або ТСП-2. При втраті напруги на одному з вводів автоматично відключається магнітний пускач основного джерела живлення та вмикається пускач резервного вводу, що забезпечує безперервність електропостачання відповідальних споживачів.

У випадку одночасного зникнення напруги на обох трансформаторах автоматично вмикається система аварійного освітлення, живлення якої здійснюється від акумуляторної шафи ЩУОТ. При цьому забезпечується освітлення машинної зали, чергового приміщення та ЗРУ-6 кВ до моменту відновлення нормального електропостачання.

3.2 Розрахунок кабельної мережі Центральної насосної станції 0,4 кВ

На Центральній насосній станції встановлено споживані, які споживають електричну енергію напругою 0,4 кВ.

Проведемо вибір кабелю насосного агрегату №4 (насос ДНВ.250-370РА), де встановлено приводний двигун насоса ОМТ1 315-4 потужністю 200 кВт.

Струм двигун насоса ОМТ1 315-4 згідно з табл. 1.2 - 340 А.

Для живлення асинхронного двигуна насоса типу ОМТ1 315-4 потужністю 200 кВт та номінальним струмом 340 А приймаємо силовий броньований кабель марки АВБбШв-1 3×240+1×120 мм². Такий кабель

застосовується для стаціонарного прокладання у промислових мережах напругою до 1 кВ та має такі параметри: $R_0 = 0,125 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$.

Основні технічні характеристики кабелю АВБбШв: допустимий тривалий струм для кабелю перерізом 185 мм^2 становить 312 А при прокладанні у ґрунті. Оскільки струм двигуна складає 340 А , переріз 185 мм^2 є недостатнім, тому приймаємо наступний стандартний переріз - 240 мм^2 .

1) Перевірка кабелю за допустимим тривалим струмом:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (3.2)$$

де $I_p = 340 \text{ А}$ – розрахунковий струм двигуна;

$I_{\text{доп}} \approx 360 - 380 \text{ А}$ – струм для кабелю АВБбШв $3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$.

Умова виконується:

$$380 > 340 \text{ А}.$$

2) Перевірка за допустимими втратами напруги.

Припустима втрата напруги:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)}{U_H} \cdot 100\% = \\ &= \frac{1,73 \cdot 340 \cdot (0,0188 \cdot 0,85 + 0,012 \cdot 0,53)}{380} \cdot 100\% \approx 3,4\% \end{aligned}, \quad (3.3)$$

де $L = 150 \text{ м}$ - довжина кабелю;

$\cos \varphi = 0,85$ - середньозважений коефіцієнт потужності;

$U_H = 380 \text{ В}$ – номінальна напруга.

Допустимі втрати напруги для силових мереж не повинні перевищувати 5% . Умова виконується:

$$3,4\% < 5\%.$$

3) Перевірка за економічною густиною струму.

Значення економічної густини струму для алюмінієвих кабелів $J_{EK} = 1,4$

А/мм^2 :

$$S_{ек} = \frac{I}{J_{ЕК}} = \frac{340}{1,4} = 243 \text{ мм}^2. \quad (3.4)$$

Прийнятий стандартний переріз: $S = 240 \text{ мм}^2$. Отримане значення практично відповідає економічному перерізу, тому кабель вибраний правильно.

4) Перевірка на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Умова перевірки:

$$S_{\min} \geq \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t}}{C} = \frac{10000 \cdot \sqrt{1}}{76} = 131,6 \text{ мм}^2, \quad (3.5)$$

де $I_{\infty} = 10000 \text{ А}$ – струм короткого замикання;

$t = 1 \text{ с}$ - час відключення захисного;

$C = 76$ – коефіцієнт для алюмінієвих жил з ПВХ ізоляцією.

Умова виконується:

$$240 > 131,6 \text{ мм}^2.$$

Отже, для живлення двигуна насоса ОМТ1 315-4 доцільно застосувати кабель типу АВБбШв-1 $3 \times 240 + 1 \times 120 \text{ мм}^2$, який задовольняє умови допустимого тривалого струму навантаження, допустимих втрат напруги, економічної густини струму та термічної стійкості до струмів короткого замикання.

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі Центральної насосної станції 0,4 кВ

Враховуємо паспортні значення трансформаторів (див. табл. 3.1).

Розрахунок опорів схеми заміщення мережі зведено у табл. 3.2 та 3.2.

Таблиця 3.3 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі

Назва параметру	Розрахунковий вираз	Номер виразу

Базисний струм	$I_B = \frac{S_B}{1,73 \cdot U_B}$	(3.6)
Індуктивний опір трансформатора ТМ-4000/35, ТЗС-630/10	$X_{TP} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_B}{100 \cdot S_H}$	(3.7)
Активний опір трансформатора ТМ-4000/35, ТЗС-630/10	$r_{TP} = \frac{\Delta P_M \cdot S_B}{S_H \cdot S_H}$	(3.8)
Індуктивний опір кабельної лінії	$X_{*L} = \frac{X_{ол} \cdot l_{л} \cdot S_B}{U_B^2}$	(3.9)
Активний опір кабельної лінії	$r_{*L} = \frac{r_{ол} \cdot l_{л} \cdot S_B}{U_B^2}$	(3.10)
Результуючий реактивний опір до точки КЗ	$X_{\sum 0,4} = X_{TP1} + X_{TP2} + X_{*L}$	(3.11)
Результуючий активний опір до точки КЗ	$r_{\sum 0,4} = r_{TP1} + r_{TP2} + r_{*L}$	(3.12)
Повний опір до точки КЗ	$z = \sqrt{X_{\sum 0,4}^2 + r_{\sum 0,4}^2}$	(3.13)
Сталий струм короткого замикання в точці КЗ	$I_{K3} = \frac{I_B}{z}$	(3.14)
Ударний струм в точці КЗ	$I_y = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{K3}$	(3.15)

Таблиця 3.4 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі

Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
-----------------	---	---------------------

Базисний струм	$I_6 = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,338$	144,338 кА
Індуктивний опір трансформатора ТМ-4000/35, ТЗС-630/10	$X_{\text{тп1}} = \frac{7,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 4000 \cdot 10^3} = 1,875$ $X_{\text{тп2}} = \frac{5,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 8,73$	1,875 8,73
Активний опір трансформатора ТМ-4000/35, ТЗС-630/10	$r_{\text{тп1}} = \frac{33500 \cdot 100 \cdot 10^6}{4000 \cdot 4000 \cdot 10^6} = 0,209$ $r_{\text{тп2}} = \frac{7300 \cdot 100 \cdot 10^6}{630 \cdot 630 \cdot 10^6} = 1,839$	0,209 1,839
Індуктивний опір кабельної лінії АВБбШв-1 3×240+1×120 мм², де X _{0к} питомий опір	$X_L = \frac{0,08 \cdot 0,15 \cdot 100}{0,4^2} = 7,5$ $X_0 = 0,08 \text{ Ом/км,}$ $l = 0,15 \text{ км}$	7,5
Активний опір кабельної лінії АВБбШв-1 3×240+1×120 мм², де r _{0к} питомий опір	$r_L = \frac{0,125 \cdot 0,15 \cdot 100}{0,4^2} = 11,719$ $R_0 = 0,125 \text{ Ом/км,}$ $l = 0,15 \text{ км}$	11,719
Результуючий реактивний опір до точки КЗ	$X_{\sum 0,4} = 1,875 + 8,73 + 7,5 = 18,105$	18,105
Результуючий активний опір до точки КЗ	$r_{\sum 0,4} = 0,209 + 1,839 + 11,719 = 13,767$	13,767

Повний опір до точки КЗ	$z = \sqrt{18,105^2 + 13,767^2} = 22,745$	22,745
Сталий струм короткого замикання в точці КЗ	$I_{K3} = \frac{144,5}{22,745} = 6,353$	6,353 кА
Ударний струм в точці КЗ	$I_y = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 6,353 = 16,124$	16,124 кА

3.4 Вибір шин струмоведучих 6 кВ

Для установок напругою до 1 кВ доцільно застосовувати алюмінієві шини прямокутного перерізу марки АД31.

Визначимо лінійний струм вторинної обмотки трансформатора ТМ-4000/35, до якого підключена шині секція №1:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 385 \text{ А.} \quad (3.16)$$

Вибираємо шини струмоведучі марки АД31 на струм 400 А, розмір полоси 80x10 мм ($S=800 \text{ мм}^2$), відстані при установці: $L=250 \text{ мм}$ (між ізоляторами), $a=150 \text{ мм}$ (між самими шинами).

1) Перевірка шин струмоведучих за економічним перерізом (3.4):

$$S_{EK} = \frac{I_H}{J_{EK}} = \frac{385}{1,3} = 296,154 \approx 300 \text{ мм}^2,$$

де $J_{EK}=1,3 \text{ А/мм}^2$ – задана економічна щільність струму.

Умова виконується:

$$300 < 800 \text{ мм}^2$$

2) Перевірка шин струмоведучих до механічних навантажень:

Електродинамічна сила, яка діє на шину:

$$F = 1,76 \cdot I_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 0,1 = 1,76 \cdot 16,124^2 \cdot \frac{25}{15} \cdot 0,1 = 76,262 \text{ Н,} \quad (3.17)$$

де I_y , кА- ударний струм КЗ (див. табл. 3.4) ;

l – відстань між ізоляторами, см;

a – відстань між шинами, см.

Вигинаючий момент:

$$M = F \cdot l = 76,262 \cdot 25 = 1907 \text{ Нсм}; \quad (3.18)$$

момент опору шини відносно вісі:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1,0 \cdot 8,0^2}{6} = 10,667 \text{ см}^3. \quad (3.19)$$

Напруження, що виникає в шині:

$$\sigma_{роз} = \frac{M}{W} = \frac{1907}{10,667} = 178,776 \text{ Н/см}^2. \quad (3.20)$$

Умова виконується:

$$179 < 16000 \text{ Н/см}^2,$$

де $\sigma_{дон} = 16000 \text{ Н/см}^2$ – допустиме напруження в шині.

3) Перевірка шин струмоведучих на термічну стійкість:

$$S_{III} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t}}{C} = \frac{6353 \cdot \sqrt{1}}{85} = 74,741 \approx 75 \text{ мм}^2. \quad (3.21)$$

Умова виконується:

$$75 < 800 \text{ мм}^2.$$

3.5 Комплекс електричних захистів двигуна насоса ОМТ1 315-4

Для асинхронного двигуна насоса ОМТ1 315-4 потужністю 200 кВт, напругою 380 В та номінальним струмом 340 А необхідно передбачити комплекс електричних захистів, які забезпечують безпечну та надійну роботу електропривода.

До основних захистів двигуна належать:

- захист від коротких замикань;
- захист від перевантаження;
- захист від обриву та перекосу фаз;
- мінімальний захист напруги;
- тепловий захист обмоток двигуна;

- захист від затягнутого пуску;
- захист від заклинювання ротора.

Для двигунів потужністю до 630 кВт застосовуються автоматичні вимикачі, теплові та мікропроцесорні реле захисту двигунів.

1) Захист АД від короткого замикання.

Номінальний струм двигуна насоса ОМТ1 315-4:

$$I_H = 340 \text{ А.}$$

Струм спрацювання автоматичного вимикача:

$$I_{ABT} \geq 1,25 \cdot I_H. \quad (3.22)$$

$$I_{ABT} = 1,25 \cdot I_H = 1,25 \cdot 340 = 425 \text{ А.}$$

Будемо розглядати установку автоматичного вимикача на стандартний найближчий номінал по струму 500 А.

Для захисту АД (напруга живлення 380 В) вибрано автоматичний вимикач типу ВА88-40 500А з номінальним струмом 500 А:

- номінальний струм 500 А;
- вимикальна здатність 50-70 кА;
- електромагнітний розчеплювач.

Зарубіжні аналоги:

- ABB Tmax XT5N 500;
- Schneider Electric Compact NSX630N;
- Eaton NZM3-VE500.

2) Вибір електромагнітного розчіплювача.

Пусковий струм асинхронного двигуна насоса ОМТ1 315-4:

$$I_{II} = 6,1 \cdot I_H = 6,1 \cdot 340 = 2074 \text{ А.} \quad (3.23)$$

Уставка миттєвого електромагнітного захисту:

$$I_{EM} = 1,2 \cdot I_{II} = 1,2 \cdot 2074 = 2489 \text{ А.} \quad (3.23)$$

Приймаємо:

$$I_{EM} \approx 2500 \text{ А.}$$

3) Тепловий захист від перевантаження двигуна насоса ОМТ1 315-4.

Теплове реле вибирають за умовою:

$$I_{TP} = 1,1 \cdot I_H = 1,1 \cdot 340 = 374 \text{ А.} \quad (3.24)$$

Приймаємо уставку теплового реле:

$$I_{уст} = 400 \text{ А.}$$

Для захисту асинхронного двигуна ОМТ1 315-4 від тривалих перевантажень вибрано теплове реле АВВ ТА450DU-400 з діапазоном регулювання струму до 400 А.

Зарубіжні аналоги:

- Schneider Electric LR9F5375 (електронне теплове реле до 400 А);
- РТЛ-400 (теплове реле промислового виконання).

4) Захист від обриву та перекосу фаз.

Для асинхронного двигуна ОМТ1 315-4 з номінальним струмом 340 А захист від обриву фаз доцільно виконати за допомогою реле контролю фаз, яке контролює наявність трьох фаз, чергування фаз, перекося напруг, пропадань однієї з фаз.

Для захисту електродвигуна ОМТ1 315-4 вибрано реле контролю фаз Новатек РНПП-312.

Аналоги:

- мікропроцесорні реле захисту типу РДЦ;
- ЕЛ-11М;
- реле контролю фаз TENSE.

5) Мінімальний захист напруги

Мінімальний захист напруги необхідний для запобігання самозапуску двигуна, відключення двигуна при зниженні напруги, захисту обмоток статора від перегріву.

Уставка мінімальної напруги:

$$U_{\min} = 0,7 \cdot U_H = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.} \quad (3.25)$$

Для захисту асинхронного двигуна ОМТ1 315-4 від роботи при зниженій напрузі вибрано реле контролю напруги Новатек РНПП-302М1.

Аналоги:

- реле Schneider Electric RM22UA33MT;
- реле DigiTOP VP-380V;
- реле F&F CP-731;
- реле НЛ-11.

6) Захист від затягнутого пуску двигуна ОМТ1 315-4

Для керування пуском асинхронного двигуна ОМТ1 315-4 вибрано реле часу NTE8-Y CHINT на напругу 380 В та забезпечує надійну комутацію кіл керування електропривода.

Реле забезпечує автоматичне перемикання схеми «зірка–трикутник» із регульованою витримкою часу:

$$t = 6 \div 60 \text{ с.}$$

7) Захист від перегріву обмоток двигуна ОМТ1 315-4

Встановлюємо:

- вбудовані термодатчики типу PTC Thermistor Single/Triple Thermistor 150 С у пазах статора (один на фазу) при температурі спрацювання 150 °С (клас ізоляції F), ;
- термісторне реле захисту Siemens 3RN2010-1CW30.

ВИСНОВКИ

У даному розділі виконано аналіз та проєктування системи електропостачання Центральної насосної станції КП Кривбасводоканал.

На основі аналізу навантажень та каталожних даних здійснено вибір силових трансформаторів (ТМ-4000/35; ТЗС-630/10; ТМ-160/6,3). Розглянуто роботу електрообладнання як у нормальному, так і в аварійному режимах

(режим КЗ), що дозволило оцінити стійкість системи електропостачання та її здатність забезпечувати безперервність технологічного процесу роботи насосного агрегату №4.

Виконано розрахунок струмів короткого замикання ($I_{кз} = 6,353$ кА) на клеммах асинхронного двигуна ОМТ1 315-4, що є необхідним для правильного вибору комутаційної апаратури, струмопровідних елементів та засобів захисту. За результатами розрахунків підібрано обладнання для мережі 0,4 кВ, зокрема кабельна лінія, струмопровідні шини.

Також виконано вибір і перевірку апаратури захисту електродвигунів насосних агрегатів від перевантаження, коротких замикань, обриву фаз, мінімальної напруги та перегріву обмоток. Це дозволяє підвищити надійність роботи електроприводів, зменшити ризик аварійних відключень та забезпечити безпечну експлуатацію обладнання.

У результаті проведених розрахунків і вибору обладнання сформована система електропостачання, яка відповідає вимогам надійності, електробезпеки, енергоефективності та забезпечує стабільну роботу Центральної насосної станції КП «Кривбасводоканал».

ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

1. Проведено аналіз технологічного процесу перекачування питної води на Центральній насосній станції КП Кривбасводоканал та визначено основні вимоги до електропривода насосного агрегату.

2. Обґрунтовано доцільність застосування системи ПЧ-АД як найбільш ефективного рішення для регулювання продуктивності насосного обладнання.

3. Виконано вибір асинхронного двигуна ОМТ1 315-4, параметри якого забезпечують необхідну потужність і стабільну роботу насосного агрегату.

4. Для керування електроприводом обрано перетворювач частоти Danfoss VLT AQUA Drive FC 202, що забезпечує енергоефективне регулювання швидкості та оптимізацію режимів роботи насоса.

5. Проведено розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна та побудовано його статичні характеристики, що дозволило оцінити його робочі режими.

6. Встановлено, що система ПЧ–АД забезпечує плавне регулювання швидкості, зниження пускових струмів та підвищення стабільності роботи насосного агрегату.

7. Виконано аналіз динамічних процесів, який показав аперіодичний характер перехідних режимів та допустимі значення пускових струмів.

8. Розроблено систему електропостачання насосної станції з вибором трансформаторів, кабельних ліній та захисної апаратури.

9. Доведено, що впровадження частотно-регульованого електропривода дозволяє підвищити енергоефективність, надійність та знизити експлуатаційні витрати насосної станції.

10. Отримані результати можуть бути використані при модернізації насосних систем водопостачання для підвищення їх техніко-економічних показників.