

Електромеханічне обладнання насосної дільниці адміністративного банного комплексу дробильної фабрики №2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
Лоза Микита Олександрович
ЕЕМ-20
Керівник: Ільченко О.В.

РЕФЕРАТ

У розділі 1 виконано огляд насосних агрегатів ПАТ АрселорМіттал Кривий Ріг: насосної та пульпонасосної станцій, вивчено роботу насосів банного комплексу, розроблено план його модернізації. Надано характеристики консольного насоса К 100-65-250 і вибрано приводний двигун типу АІР 200 М2 потужністю 37 кВт.

У розділі 2 вибрано перетворювач частоти АТV950D37N4 АТV950. Побудовано статичні характеристики приводного двигуна та з частотним керуванням електроприводом. Отримано результати математичного моделювання прямого пуску електропривода насоса К 100-65-250, динамічні режими роботи системи ПЧ-АД насоса з використанням МАТLАВ/Simulink.

У розділі 3 розроблено схему електропостачання банного комплексу, вибрано силовий трансформатор ТСЗ-1000/10, розраховано струми короткого замикання, вибрано кабельні лінії й апаратуру захисту.

МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ, НАСОСНІ АГРЕГАТИ, ДВИГУН
АСИНХРОННИЙ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СТАТИЧНІ ТА
ДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ВСТУП

Режимів водопостачання-водоспоживання є змінними (не можуть бути постійними). Тому усі насосні установки агрегати працюють у змінному режимі залежно від споживання води. Раціональне регулювання роботою насоса забезпечує економію електричної енергії.

Насосні агрегати є потужними споживачами електричної енергії на промислових підприємствах, не виключенням є і металургійне підприємство. Насосні установки даного підприємства споживають 12...14 % активної потужності і 7...9 % реактивної потужності усього підприємства. Питання зниження рівня споживаної електричної енергії в останні роки є актуальною проблемою, особливо воно загострилося у воєнні часи.

Експлуатація насосних агрегатів у, так званих, раціональних режимах для усього потужного підприємства може забезпечити значне зниження споживаної електричної енергії.

Можна сказати, що насосні установки комбінату, експлуатуються не раціонально. Їхня робота проектувалася виходячи з умов повного завантаження усіх основних технологічних підрозділів комбінату. Але часи змінилися і підприємство працює у режимі змінної роботи основних споживачів води.

На потужних насосних станціях комбінату ще не встановлений регульований електропривод насосних установок, зміна подачі води регулюється за допомогою засувки, не визначені обґрунтовані та необхідні значення основних параметрів (подача, напір, тиск), які повинні забезпечувати насосні станції для роботи технологічних підрозділів комбінату.

На потужних насосних станціях в якості приводних використовуються синхронні та асинхронні двигуни. У таких електроприводах стабілізація відповідних параметрів за допомогою засувки не дозволить експлуатувати насосні агрегати при раціональних режимах, що приведе до перевитрати електроенергії, доволі значної.

Але не правильним було б говорити за використання водних ресурсів тільки у виробничих процесах. Я у своїй роботі розглядаю роботу насосних агрегатів у банному комплексі для потреб робітників та надання їм якісних послуг, що забезпечують санітарні норми на підприємстві.

Метою даної роботи є розробка оптимізації режимів роботи насосів К 100-65-250 банного комплексу шляхом встановлення перетворювачів частоти.

1.1 Огляд роботи насосної станції

Насосна станція комбінату призначена для забезпечення водою (чистою та брудною) різних споживачів: сортопрокатних цехів, блюмінгів, дрібносортових станів, дротяних станів та інших підрозділів.

Використання води різних циклів така:

- цикл чистої води: в охолоджувальних елементах нагрівальних печей, колодязів, підшипників валків, мастилоохолоджувачах, повітроохолоджувачах;

- цикл брудної води: охолодження валків, змиву та транспортування окалини.

Насосна станція має 3 групи насосів (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристики насосів та приводних двигунів різних груп насосів

Цикл чистої води					
Дані насосів			Дані двигунів		
типи	Подача Q , м ³ /год	Напір H , м	типи	P , кВт	n , об/хв
20 НДС	3420	71	А 13-59-6	800	985
22 НДС	3600	52	А 13-62-8	630	735
Цикл брудної води					
Дані насосів			Дані двигунів		
типи	Подача Q , м ³ /год	Напір H , м	типи	P , кВт	n , об/хв
20 НДС	3500	65	А 13-62-8	630	750
20 НДС	3420	71	А 13-59-6	800	985
22 НДС	3600	52	А 13-62-8	630	735
Додаткові камери циклу чистої води					
Дані насосів			Дані двигунів		
типи	Подача Q , м ³ /год	Напір H , м	типи	P , кВт	n , об/хв

20 НДС	2500	17,6	А 104-8	160	735
1,5 КШ	3	24	Л032-4	1,0	1500

Розглянемо будову насоса 20 НДС, який показаний на рис. 1.1: 1 – ротор насоса; 2 – кільця ущільнення; 3 – робоче колесо; 4 – пробка; 5 – кришка корпусу; 6 – торцеві ущільнення; 7 – посадочне місце підшипника; 8 – стакан підшипника; 9 – корпус; 10 – болти

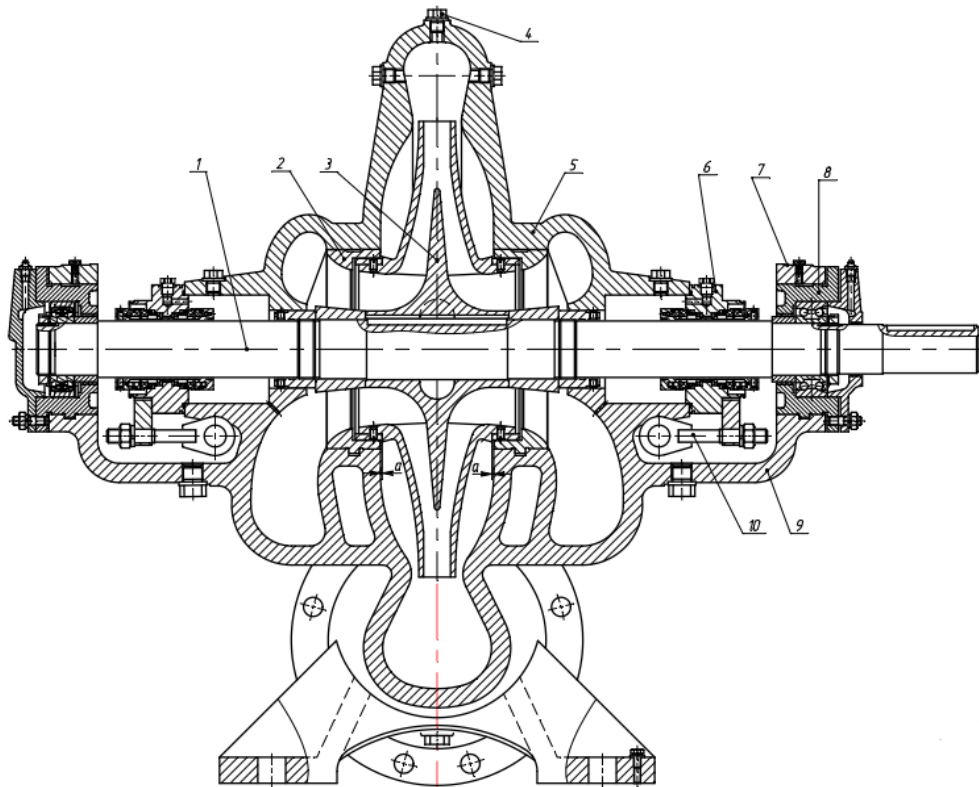


Рисунок 1.1 – Насос 20 НДС

Більш повні характеристики насосів 20 НДС, 22 НДС наведені в табл. 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики насоса 20 НДС

Технічні характеристики	Значення
Подача, Q , м ³ /год	3420
Напір, H , м	71
Діаметр робочого колеса, мм	765
Допустима вакууметрична висота всмоктування, м	1,3
Потужність на валу, кВт	725
Потужність двигуна, кВт	800
Частота обертання, об/хв	960
ККД, %	91

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики насоса 22 НДС

Технічні характеристики	Значення
Подача, Q , м ³ /год	3600
Напір, H , м	52
Діаметр робочого колеса, мм	860
Допустима вакууметрична висота всмоктування, м	4,4
Потужність на валу, кВт	555
Потужність двигуна, кВт	600
Частота обертання, об/хв	730
ККД, %	92

Аеродинамічні характеристики насосів 20 НДС, 22 НДС наведені в на рис. 1.2, 1.3.

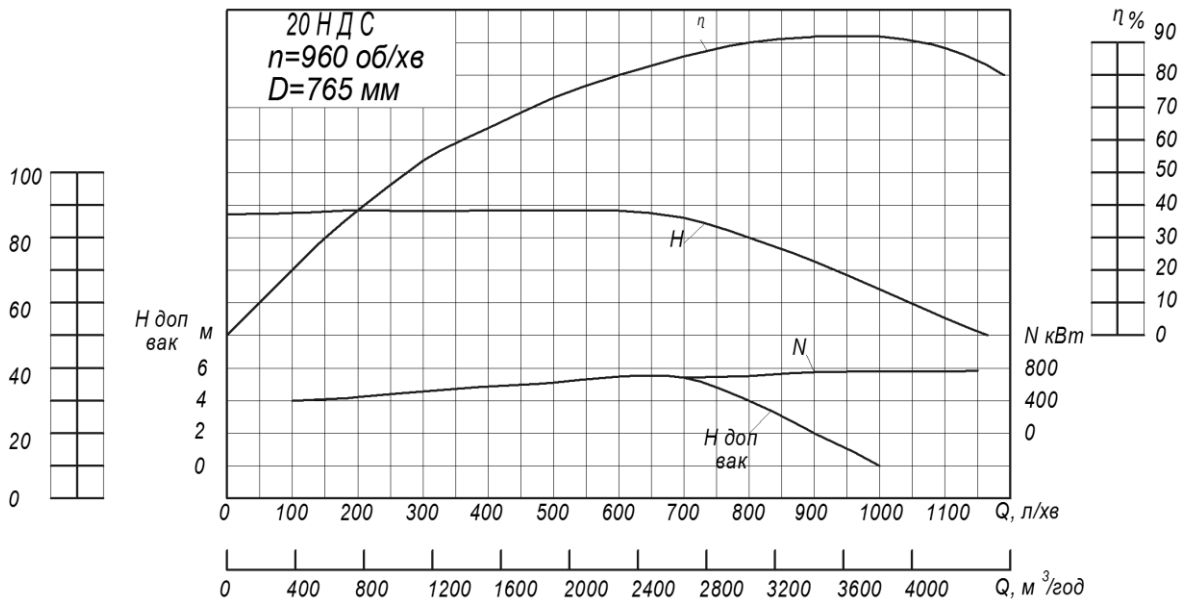


Рисунок 1.2 – Аеродинамічні характеристики насоса 20 НДС

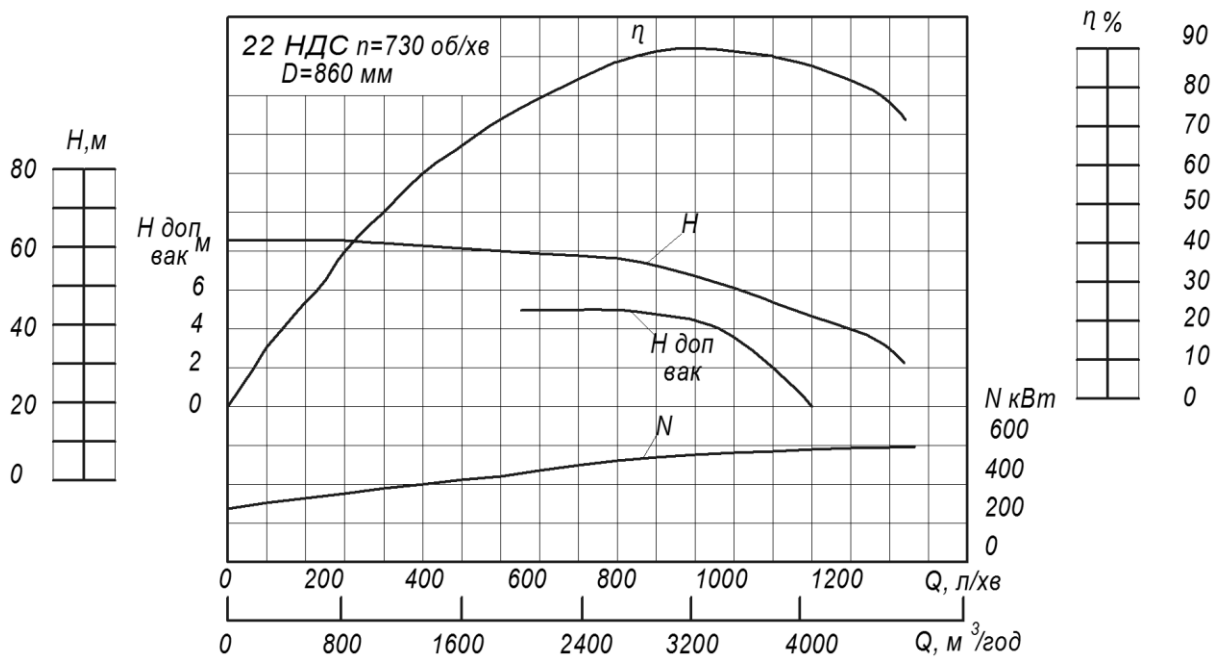


Рисунок 1.3 – Аеродинамічні характеристики насоса 22 НДС

Розглянемо режим роботи насосної станції.

Водоприймальні колодязі. Станція має водоприймальні колодязі різних циклів (чистого та брудного) гарячої й охолодженої води. Будова водоприймальних колодязів: містять водорозподільний коридор і водозабірні камери, які з'єднані вікнами вхідними; вікна мають затвори для забезпечення регулювання витрат води.

Водозабірні камери. Водозабірні камери є гарячої та охолодженої води. Вони зв'язані між собою трубопроводом, призначення якого – переливання самопливом води з гарячої камери в холодну, діаметр – 1100 мм. У самі водозабірні камери охолодженої води вода з 4-ох веж градирень самопливом надходить по двом трубопроводам, діаметр – 1200 мм У водозабірну камеру гарячої води вода самопливом надходить від СПЦ-2 по трубопроводу, діаметр – 1400 мм.

Камери води. Брудний оборотний цикл має 4 камери охолодженої води та 3 камери гарячої води, які зв'язані між собою переливним самопливним трубопроводом, діаметр – 1100 мм. У водозабірні камери охолодженої води вода самопливом потрапляє з градирень по трубопроводу, діаметр – 1200 мм. У камери гарячої води подається вода, освітлена на вторинних відстійниках по двом трубопроводам, діаметри яких 1400 мм і 1200 мм.

Переливні трубопроводи. У секціях водорозподільного коридору насосної станції є переливні трубопроводи, які служать для скидання води до насосної станції промислових стоків. Вода чистого оборотного циклу потрапляє по трубопроводам діаметром 800 мм (через засувки К-4).

Рівень води у водоприймальних камерах та коридорах насосної станції контролюється за допомогою світлової сигналізації (на табло світяться лампочки) з використанням рівнів води. Рівень води у камерах складає: влітку 2...3 лампочки; взимку до 5-ти лампочок; рівень води у водоприймальних камерах - 1...3 лампочки.

При обслуговуванні насосних агрегатів машиніст повинен підтримувати певні параметри для різних циклів:

- 1) чистого оборотного циклу:

- тиск води 4...4,4 атм.;
 - витрата води 7000...7200 м³/год;
 - температура води 25...30 °С;
- 2) брудного оборотного циклу:
- тиск води 4,0...4,2 атм.;
 - витрата води 10 000...11 000 м³/год;
 - температура води 20...25 °С.

1.2 Огляд роботи пульпонасосної станції

На пульпонасосних станціях широко використовується шламовий насос НП-500 (землесос).

Шламовий насос перекачує різноманітні гідросуміші (шламові й абразивні) та працює з такими показниками:

- водний показник (рН) 0-14;
- густина до 1500 кг/м³;
- температура пульпи – 5–70 °С;
- тверді включення в пульпі – до 50 %;
- розмір твердих включень 10 – 15 мм, еластомір – 2 мм.

Ознайомимося з технічними характеристиками насоса НП-500 (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики насоса НП-500

Технічні характеристики	Значення
Продуктивність, м ³ /год.	3800
Напір, м	58
Максимальна частота обертання, об/хв.	375
Максимальна потужність насоса, кВт	1600
Максимальний ККД насоса, %	85

Насос НП-500 зображений на рис. 1.4.

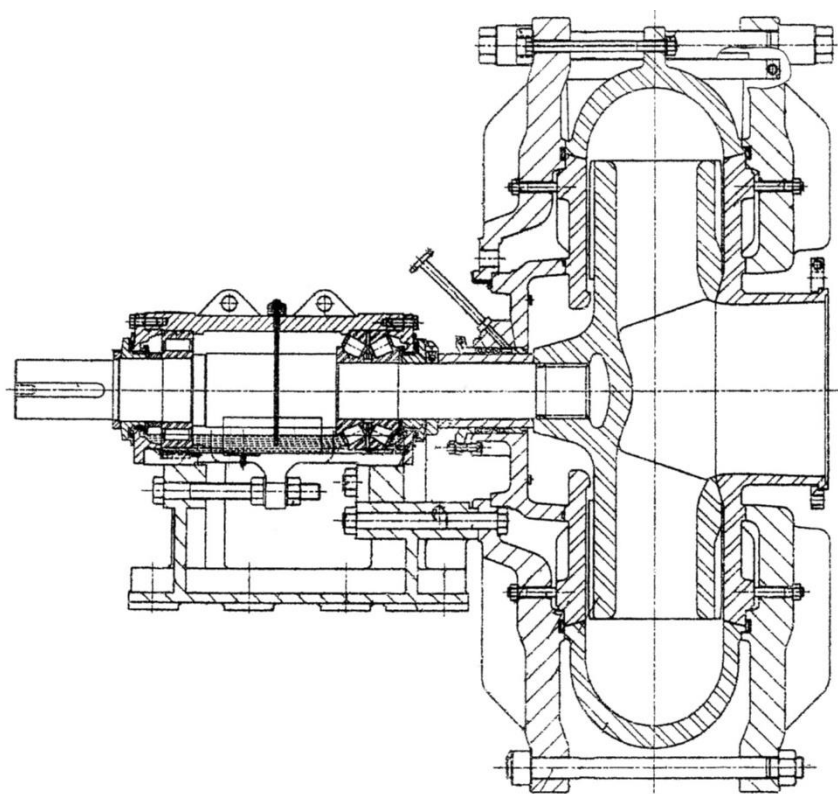


Рисунок 1.3 – Насос НП-500

Також на гірничо-металургійних підприємствах часто використовується ґрунтовий насос 5Гр 8.

Ґрунтовий насос – це потужний відцентровий насос, що може перекачувати дуже густі речовини, а також високоабразивні гідросуміші.

Характеристики високоабразивних гідросумішів:

- водний показник (рН) 6...12;
- густина до 1600 кг/м³;
- температура 5 - 70 °С;
- тверді включення до 40 %;
- мікротвердість до 11000 МПа;
- розмір твердих включень до 6 мм.

Ґрунтовий насос 5Ґр 8 складається з: 1 – корпус, 2 – колесо робоче, 3 – диск захисний, 4 – втулка захисна валу, 5 – вал в зборі, 6 – корпус станини, 7 – муфта, 8 – кришка сальника, 9 – кільце сальника.

Його вид показаний на рис. 1.4, 1.5, а на рис. 1.6 та в табл. 1.5 - технічні характеристики.

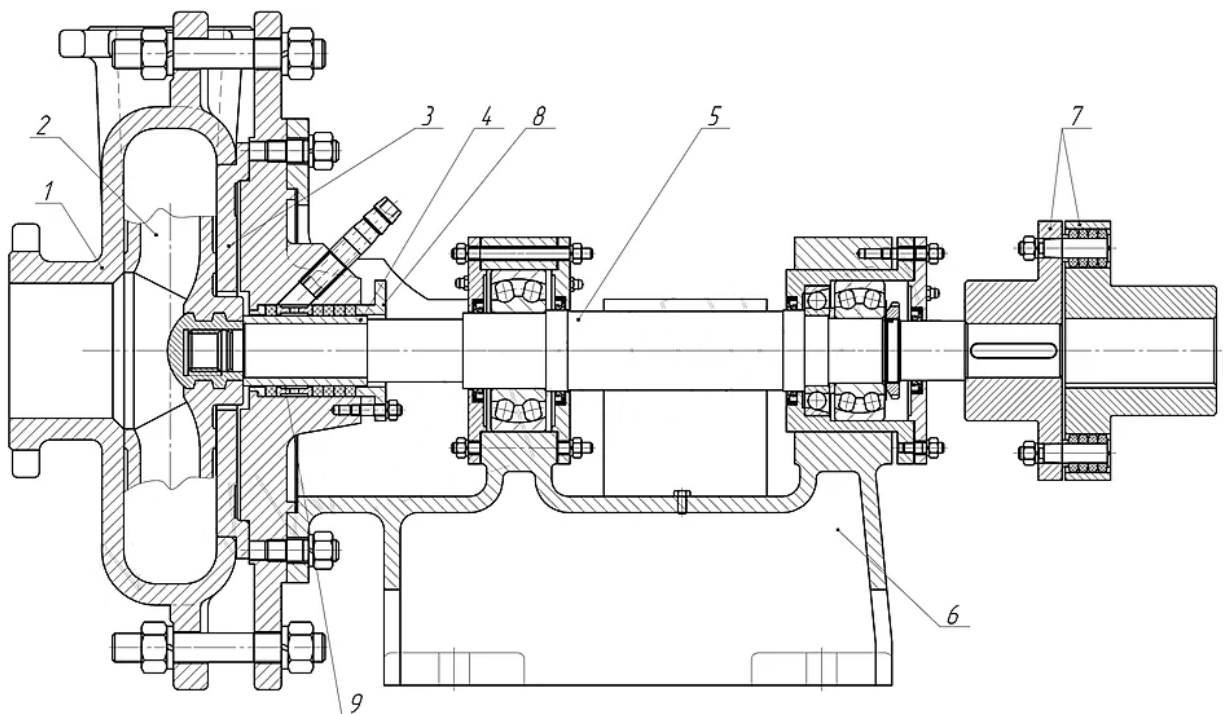


Рисунок 1.4 – Ґрунтовий насос 5Ґр 8

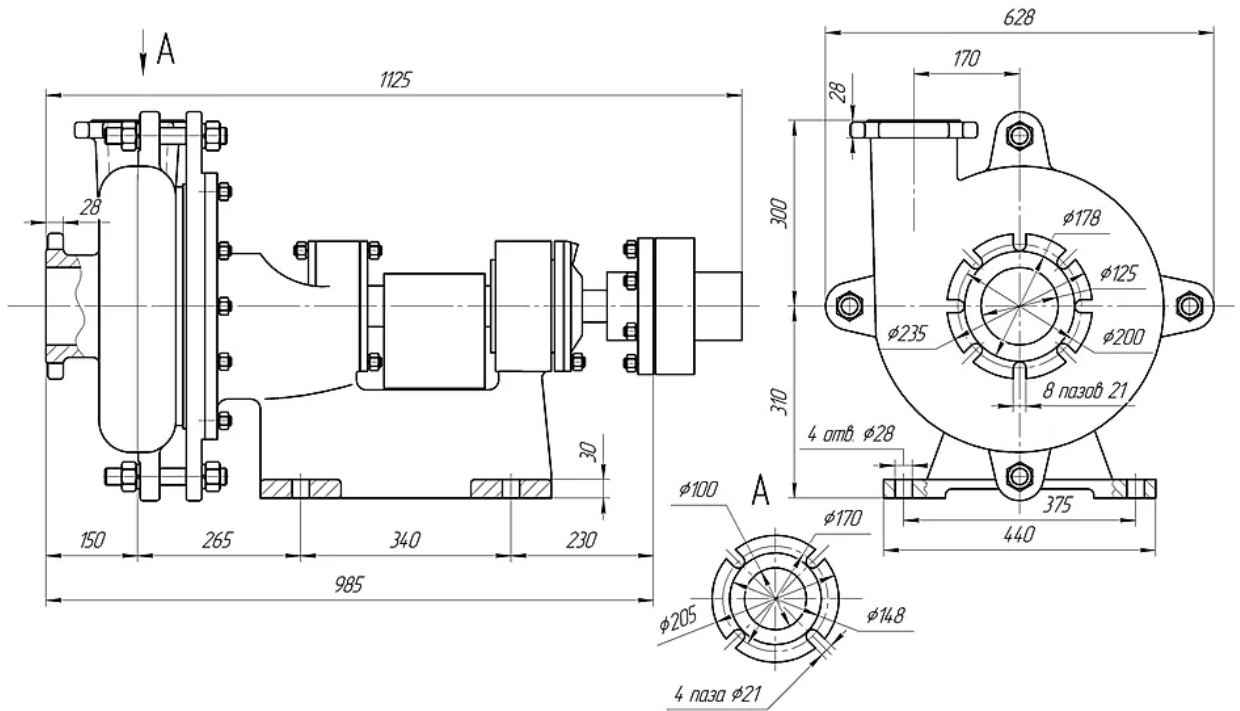


Рисунок 1.5 – Габаритні характеристики насоса 5Гр 8

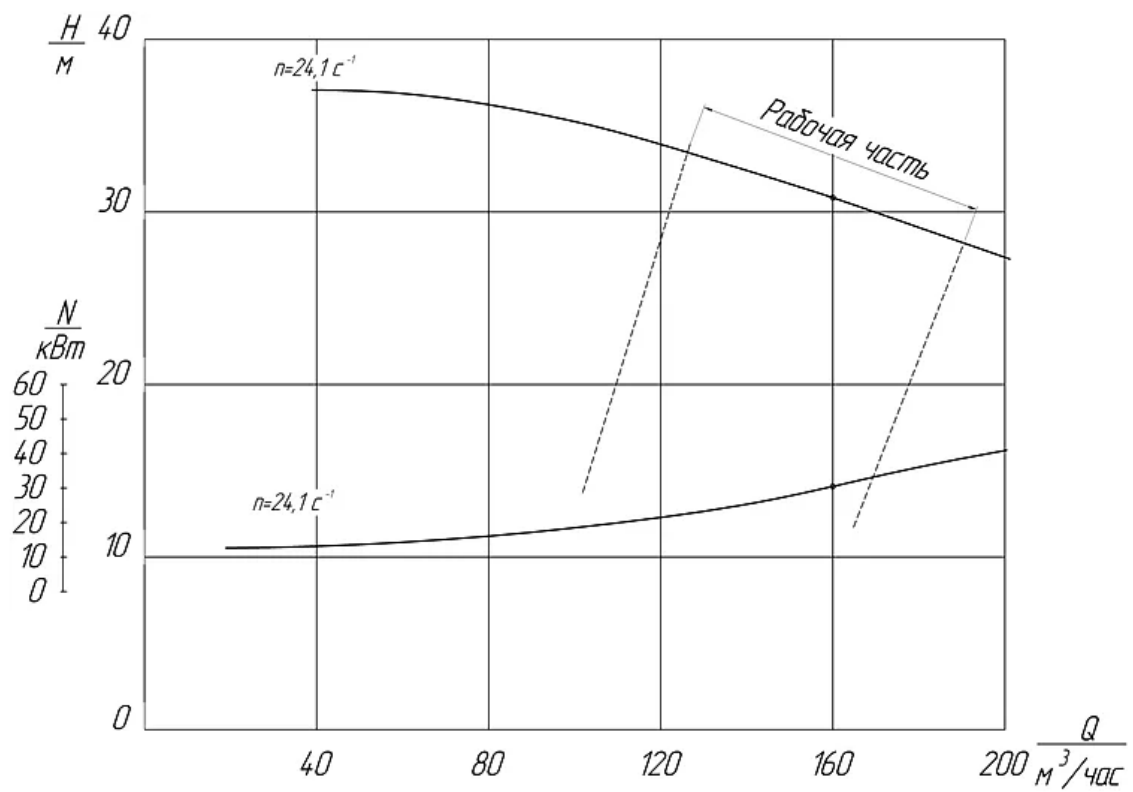


Рисунок 1.6 – Характеристики насоса 5Гр 8

Таблиця 1.5 – Характеристики ґрунтового насоса 5Гр 8

Технічні характеристики	Значення
Діаметр робочого колеса, мм	325
Подача, Q , м ³ /год	160
Напір, H , м	32
Припустимий кавітаційний запас, м	4,5
Частота обертання, об/хв	1450
ККД, %	58
Щільність пульпи, ρ , кг/м ³	1600

У якості приводного двигуна насоса 5Гр 8 використовується двигун 4А200М4 з паспортними даними, що наведені в табл. 1.6. Габаритні характеристики електропривода насоса 5Гр 8 дивись на рис. 1.7.

Таблиця 1.6 – Характеристики двигуна 4А200М4

Технічні характеристики	Значення
Номінальна напруга, В	380
Номінальна потужність, кВт	37,0
Синхронна швидкість, об/хв	1500
Номінальне ковзання, в.о.	0,017
ККД, %	91
Коефіцієнт потужності	0,9
Кратність максимального моменту	2,2
Кратність пускового моменту	1,4
Кратність пускового струму	7,0

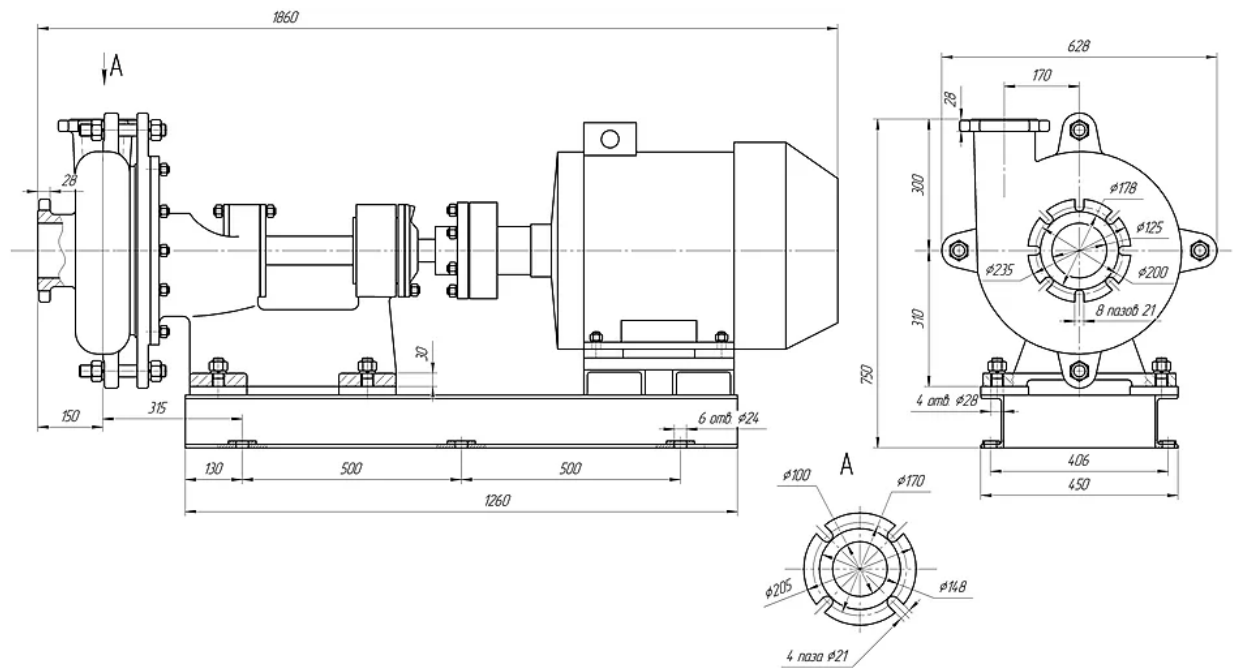


Рисунок 1.7 – Габаритні характеристики електропривода насоса 5Гр 8

1.3 Огляд роботи насоса банного комплексу

Існуюче обладнання банного комплексу.

Вода пропускається через лічильник і надходить на Абк.

Потім вода надходить до клапанів біля резервуарів, реле втягується, клапан пропускає воду, після чого вода потрапляє в розширювач з електродом (рис. 1.8). Як тільки вода торкається електрода, включається ТЕН (та трьох баках). Рівень води регулюється за рахунок датчика рівня (рис. 1.9) і рівень води в баках є приблизно однаковим.

Подача води до нагрівачів (ТЕНи) вмикається/вмикається автоматично, якщо рівень води в резервуарі більше/менше 800 умовних одиниць (рис. 1.10). За допомогою інтернет-реле, яке працює за програмою, або в певний час, один з двигунів включається за допомогою перетворювача частоти (ПЧ).



Рисунок 1.8 - Розширювач з електродом



Рисунок 1.9 - Датчик рівня води в резервуарах: vegapuls SR 68



Рисунок 1.10 - Індикатор рівня води в резервуарах: ІТМ-22

Ключ вибору двигуна розташований на пульті дистанційного керування і подає теплу воду в крани в душові кабінки банного комплексу. Також є третій вертикальний насос, який призначений для зливу зумпфа, вода в який набирається із самого Абк.

Також у банному комплексі встановлені насосні агрегати, які працюють на подачу гарячої води (див. рис. 1.11, 1.12).

Насосні агрегати банного комплексу працюють на розгалужену систему трубопроводів, яка показана на рис. 1.13.



Рисунок 1.11 - Насосний агрегат №1 подачі гарячої води



Рисунок 1.12 - Насосний агрегат №2 подачі гарячої води

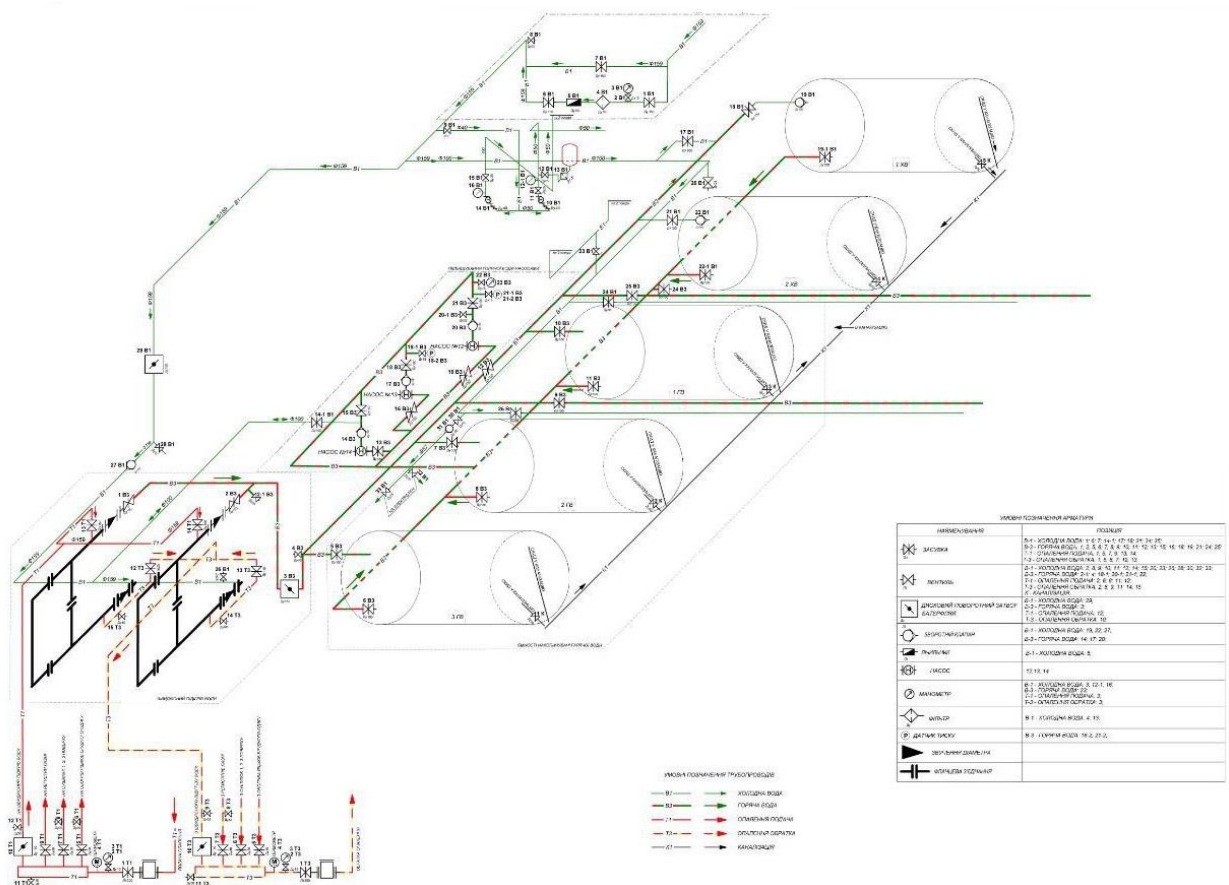


Рисунок 1.13 - Схема розведення трубопроводу банного комплексу

У банному комплексі встановлено насосні агрегати типу К.
 Загальні характеристики консольних насосів серії К наведені на рис. 1.14.
 Ознайомимося з технічними характеристиками консольного насоса К 100-65-250 (табл. 1.7) (виробник Укрнасоссервіс).

PUMP	FLOW, M ³ /H	HEAD, M	PERMISSIBLE CAVITATION MARGIN, M, NO MORE THAN	PUMP POWER, KW	POWER ELECTRIC MOTOR, KW	PUMP EFFICIENCY, %, NOT LESS	SPEED, RPM
K8/18	8	18	3.8	0.9	1.5	53	2900
K20/30	20	30	3.8	2.7	4.0	64	2900
K45/30	45	30	4.3	4.3	7.5	70	2900
K90/20	90	20	5.5	5.5	7.5	78	2900
K160/30	160	30	4.2	17.5	30.0	75	1450
K290/30	290	30	4.2	29.0	37.0	82	1450
K50-32-125	12.5	20	3.5	1.24	2.2	55	2900
K65-50-160	25	32	3.8	3.4	5.5	60	2900
K65-50-160a	20	30	3.7	2.8	4.0	60	2900
K80-65-160	50	30	4.0	6.2	7.5	70	2900
K80-50-200	50	50	3.5	10.5	15.0	65	2900
K80-50-200a	45	40	3.5	8.0	11.0	61	2900
K100-80-160	100	32	4.5	11.9	15.0	73	2900
K100-80-160a	90	26	4.5	9.2	11.0	69	2900
K100-65-200	100	50	4.5	18.9	30.0	70	2900
K100-65-200a	90	40	4.5	15.3	22.0	65	2900
K100-65-250	100	80	4.5	32.5	45.0	67	2900
K100-65-250a	90	67	4.5	26.1	37.0	63	2900
K150-125-250	200	20	4.2	13.4	18.5	81	1450
K150-125-315	200	32	4.0	22.9	30.0	76	1450
K200-150-250	315	20	4.2	20.7	30.0	79	1450
K200-150-250a	290	16	4.2	15.6	22.0	77	1450
K200-150-315	315	32	4.2	33.5	45.0	80	1450
K200-150-315a	290	26	4.2	25.7	30.0	78	1450
K200-150-400	400	50	5.0	70.7	90.0	77	1450
K200-150-400a	400	40	5.0	58.1	75.0	75	1450

Рисунок 1.14 – Характеристики консольних насосів серії К

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики насоса К 100-65-250

Технічні характеристики	Значення
Продуктивність, м ³ /год.	100
Напір, м	80
Максимальна частота обертання, об/хв.	3000
Максимальна потужність насоса, кВт	45
Діаметр вхідного патрубку, мм	100
Діаметр вихідного патрубку, мм	65
ККД, %	82

Електропривод консольного насоса К 100-65-250 зображений на рис. 1.15.

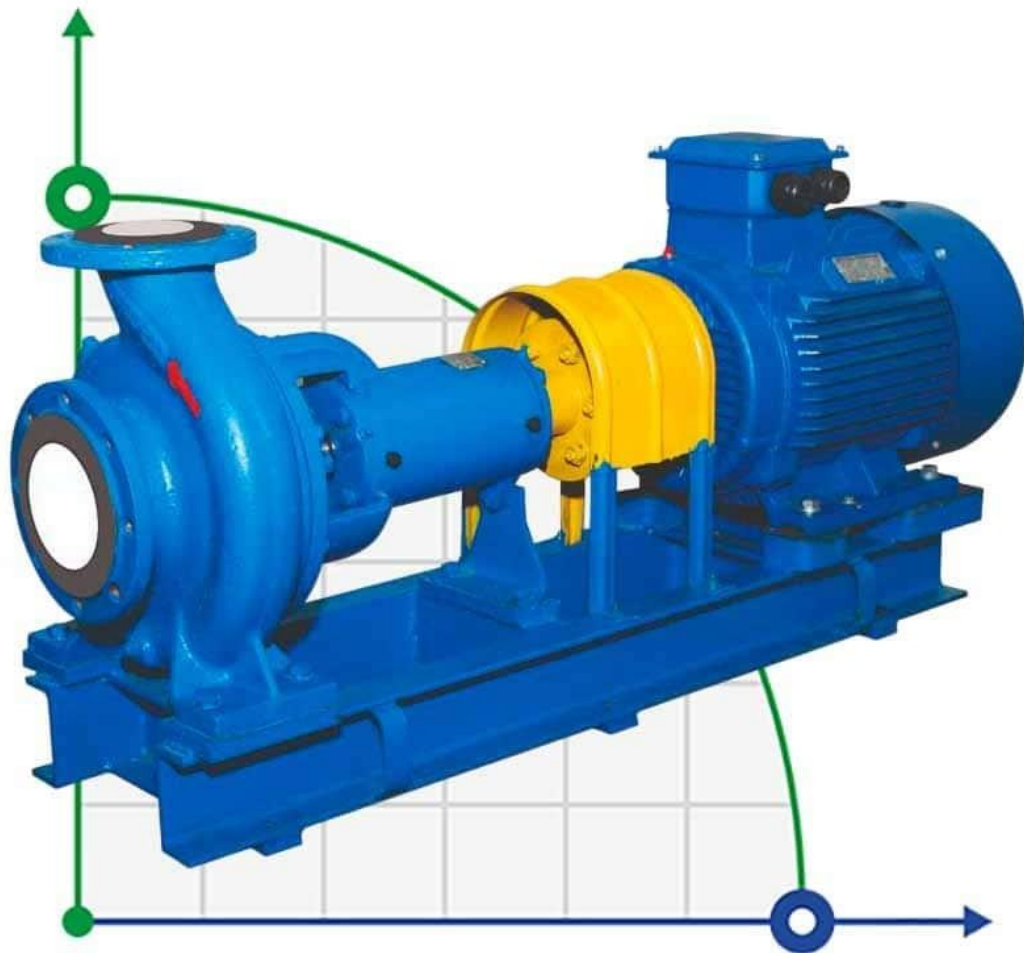


Рисунок 1.15 – Электропривод консольного насоса К 100-65-250

Характеристики щодо перекачуваної рідини:

- чиста вода;
- водний показник (рН) 6...9;
- густина до 1000 кг/м^3 ;
- температура 5 - 85 °С;
- тверді включення до 0,1 %;
- розмір твердих включень до 0,2 мм.

Інформація щодо монтажу насосів К 100-65-250:

- ущільнення валу одинарним сальником;
- матеріал деталей проточної частини - сірий чавун.

Габаритні характеристики консольного насоса К 100-65-250 наведені на рис. 1.16.

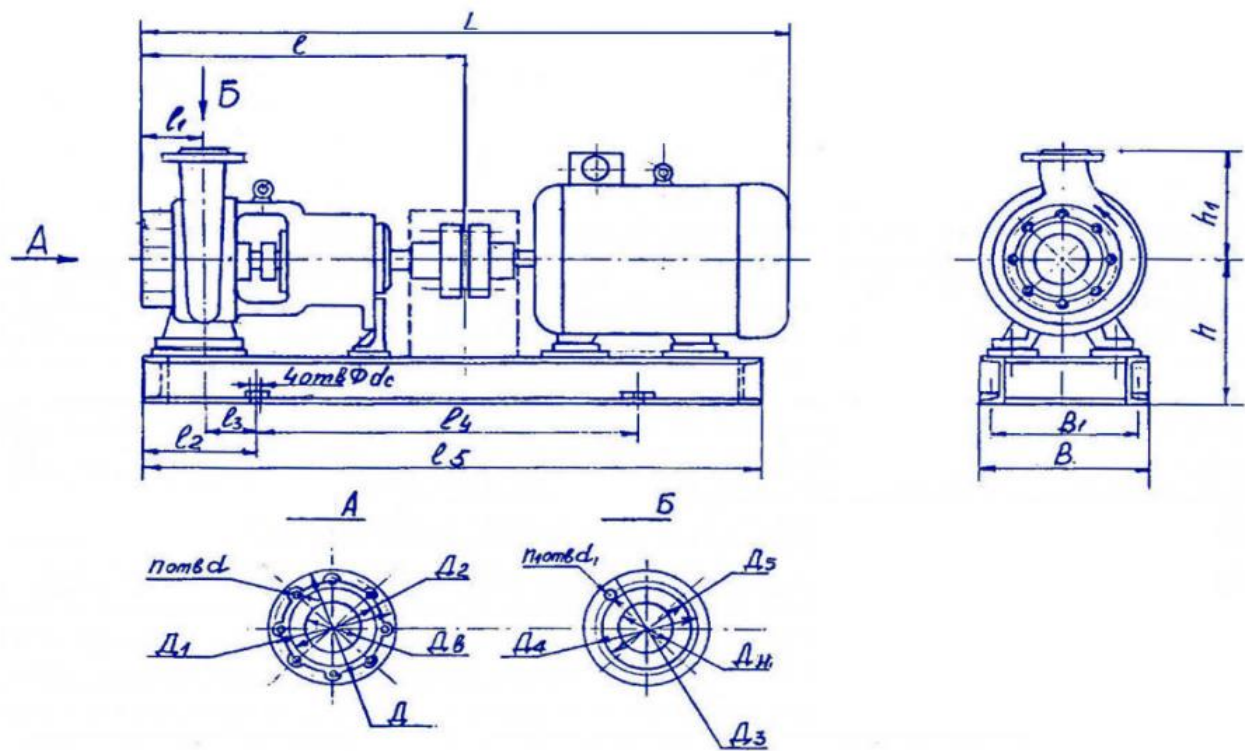


Рисунок 1.16 – Габаритні характеристики консольного насоса К 100-65-250:
 $L=1390$, $L_1=125$, $L_2=265$, $L_3=175$, $L_4=710$, $L_5=1175$, $B=360$, $B_1=320$, $H=310$,
 $H_1=250$, $DC=22$

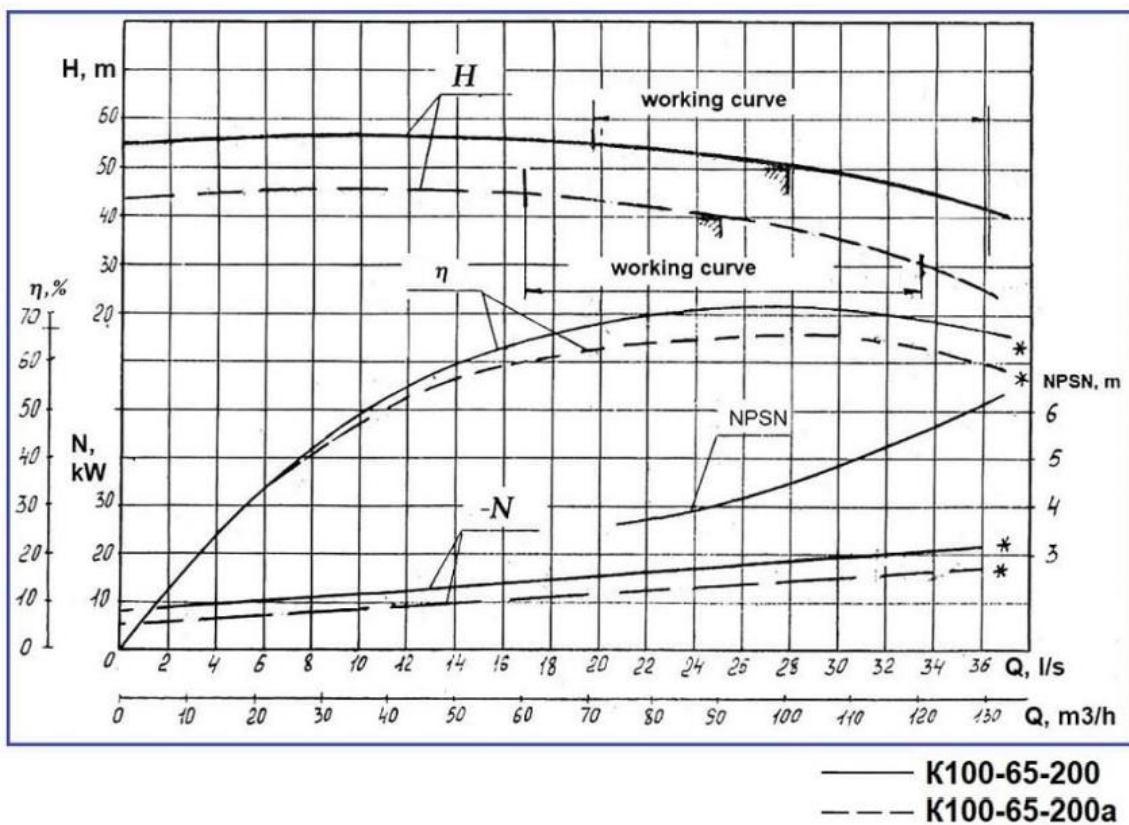


Рисунок 1.17 – Характеристики консольного насоса К 100-65-250

1.3 Вибір приводного двигуна насоса К 100-65-250

Знайдемо потужність привідного двигуна насоса К 100-65-250:

$$P_{нас} = \frac{g \cdot \rho_p \cdot K_z \cdot Q_{нас} \cdot H_{нас}}{3600 \cdot \eta_{нас}} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot 1,3 \cdot 100 \cdot 80,0}{3600 \cdot 0,82} = 34560 \text{ Вт}, \quad (1.1)$$

де $\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$ – щільність чистої води;

$K_z = 1,3$ – коефіцієнт запасу;

$Q_{нас} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ – продуктивність;

$H_{нас} = 80 \text{ м}$ – напір.

Момент на валу двигуна насоса К 100-65-250:

$$M_{нас} = \frac{P_{нас}}{\omega_{нас}} = \frac{34560,0}{314,16} = 110,0 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (1.2)$$

Знайдемо статичний момент на валу насоса в залежності від швидкості:

$$M_c(\omega) = 0,15 \cdot M_{нас} + 0,85 \cdot M_{нас} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{нас}} \right)^2 = 16,5 + 93,5 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{нас}} \right)^2 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (1.3)$$

У якості приводного двигуна насоса К 100-65-250 використовується двигун АІР 200 М2 з паспортними даними, що наведені в табл. 1.8.

Сам двигун показаний на рис. 1.18.

Таблиця 1.8 – Характеристики двигуна АІР 200 М2

Технічні характеристики	Значення
Номінальна напруга, В	380/660
Номінальна потужність, кВт	37,0
Синхронна швидкість, об/хв	3000

Номинальна швидкість, об/хв	2950
Номинальний струм, А	67,9
ККД, %	92
Коефіцієнт потужності	0,9
Кратність максимального моменту	2,3
Кратність пускового моменту	2,0
Момент інерції, кг·м ²	0,14
Кратність пускового струму	7,5
Клас ізоляції	F
Ступінь захисту	IP54
Номинальний режим роботи	S1
Граничні відхилення напруги живлення від номінальних значень, %	-5 до + 10
Граничні відхилення частоти струму від номінальних значень, %	± 2,5
Максимально допустимий рівень звукової потужності, Дб	92
Маса, кг	230



Рисунок 1.18 – Двигун АИР 200 М2

ВИСНОВКИ

У першому розділі виконаний огляд насосних агрегатів, які використовуються при виконанні основних технологічних процесів комбінату. Це робота потужної насосної станції, де встановлені насоси НДС-20, НДС-22 та інші. Огляд роботи пульпонасосної станції, де працюють землесоси НП-500 та ґрунтові насоси 5Гр 8.

Докладно вивчено роботу насосів банного комплексу, недоліки роботи на сьогодні, зроблено аналіз планів по модернізації насосних агрегатів та трубопроводу.

Надані характеристики консольного насосу К 100-65-250. Проведено розрахунок потужності та вибір приводного двигуна – двигуна типу АИР 200 М2 потужністю 37 кВт.

2.1 Необхідність модернізації системи водопостачання банного комплексу

Вивчивши питання щодо роботи системи водопостачання банного комплексу я зробив висновок про необхідність модернізації роботи насосних агрегатів, які подають воду у душові кабінки банного комплексу та заміну старого трубопроводу на новий і сучасний.

Металургійне підприємство ПАТ АрселорМіттал Кривий Ріг на сьогодні встановив перетворювачі частоти для регулювання роботою усього комплексу.

Я у своїй роботі проведу дослідження такого впровадження шляхом побудови статичних і динамічних характеристик та запропоную нову систему трубопроводу.

Тому, зупиняю свій вибір на використанні системи ПЧ-АД, яка широко використовується в електроприводах насосних агрегатів, т. я. має переваги:

- високу плавність регулювання за рахунок жорсткості механічних характеристик АД;
- регулювання швидкості приводного двигуна (АД) в широкому діапазоні;
- втрати АД не перевищують номінальних.

Не лякають мене певні недоліки системи ПЧ-АД, які полягають у великій вартості перетворювачів частоти (хоча потужність ПЧ 37 кВт – не значна); складність реалізації більшості схем.

Тому вибираємо електропривод за схемою ПЧ-АД (рис. 2.1).

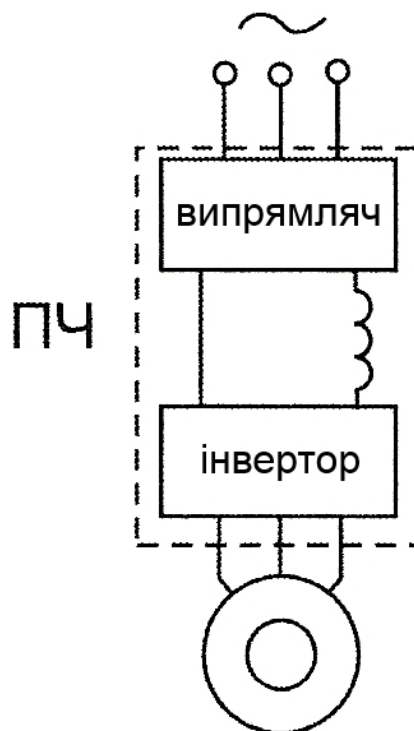


Рисунок 2.1 – Впровадження ПЧ-АД для приводу насоса К 100-65-250

2.2 Розрахунок основних параметрів приводного двигуна

В підрозділі 1.3 я розрахував потужність та зупинив свій вибір на синхронному двигуні типу АІР 200 М2, які є дуже поширеними у використанні приводів насосних агрегатів. Для розгляду питання модернізації мені необхідно розрахувати стандартні параметри АД, які я розраховував при виконанні курсового проєкту з електричних машин.

Для двигуна типу АІР 200 М2.

Частота обертання поля:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с.} \quad (2.1)$$

Номінальна частота обертання:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2950}{30} = 308,8 \text{ рад/с.} \quad (2.2)$$

Номінальне ковзання:

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = \frac{314 - 308,8}{304} = 0,017. \quad (2.3)$$

Критичне ковзання:

$$S_k = S_n \cdot (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0,017 \cdot (2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,074. \quad (2.4)$$

Номінальний струм:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,9} = 67,9 \text{ А.} \quad (2.5)$$

Номінальний момент:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{37000}{308,8} = 119,8 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.6)$$

Момент інерції:

$$J_\delta = 0,00015 \cdot M_n^{1,5} = 0,00015 \cdot 119,8^{1,5} = 0,197 \quad (2.7)$$

Сумарний момент інерції:

$$J_{\text{сум}} = 4 \cdot J_\delta = 4 \cdot 0,197 = 0,788 \quad (2.8)$$

Пусковий момент:

$$M_n = \lambda_n \cdot M_n = 2,0 \cdot 119,8 = 239,6 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.9)$$

Критичний момент:

$$M_k = \lambda_m \cdot M_n = 2,3 \cdot 119,8 = 275,5 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.10)$$

Повний опір при загальмованому роторі:

$$z_{\text{кз}} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot \beta} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 67,9 \cdot 7,5} = 0,431 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

Коефіцієнт потужності при пуску:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_n &= \cos \varphi_n \cdot \left[\lambda_n \cdot \frac{\eta_n}{(1 - S_n) \cdot \beta} + 0,33 \cdot [(1 - \eta_n) \cdot \beta] \right] = \\ &= 0,9 \cdot \left[2,0 \cdot \frac{0,9}{(1 - 0,017) \cdot 7,5} + 0,33 \cdot [(1 - 0,9) \cdot 7,5] \right] = 0,442 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Струм намагнічування:

$$I_\mu = I_n \cdot \left(\sin \varphi - \cos \varphi \frac{S_n}{S_k} \right) = 67,9 \cdot \left(0,436 - 0,9 \cdot \frac{0,017}{0,074} \right) = 15,57 \quad (2.13)$$

Струму ротора приведеній:

$$I_{2n} = I_{\mu} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_m \cdot S_n}{S_k}} = 15,57 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,3 \cdot 0,017}{0,074}} = 14,4 \text{ А.} \quad (2.14)$$

Конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = \frac{I_{\mu}}{2 \cdot I_1 \cdot \beta} + 1 = \frac{15,57}{2 \cdot 67,9 \cdot 7,5} + 1 = 1,015. \quad (2.15)$$

Сумарні втрати:

$$\Delta P_n = P_n \cdot \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) = 37000 \cdot \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right) = 4111,0 \text{ Вт.} \quad (2.16)$$

Механічні втрати:

$$\Delta P_{\text{мех}} = \frac{P_n}{6} \cdot \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) = \frac{37000}{6} \cdot \left(\frac{1}{0,9} - 1 \right) = 685,18 \text{ Вт.} \quad (2.17)$$

Втрати в роторі:

$$\Delta P_{2n} = \frac{(\Delta P_n + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot S_n}{1 - S_n} = \frac{(4111,0 + 685,18) \cdot 0,017}{1 - 0,017} = 82,9 \text{ Вт.} \quad (2.18)$$

Активний приведеній опір ротора:

$$r_2' = \frac{(\Delta P_{\text{мех}} + P_n) \cdot \lambda_n}{3 \cdot \beta^2 \cdot (1 - S_n) \cdot I_n^2} = \frac{(685,18 + 37000) \cdot 2,0}{3 \cdot 7,5^2 \cdot (1 - 0,017) \cdot 67,9^2} = 0,099 \text{ Ом.} \quad (2.19)$$

Активний опір фази статора:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{S_k} \right) \cdot \lambda_n \cdot (\Delta P_{\text{мех}} + P_n)} = \\ &= \frac{380,0^2 \cdot (1 - 0,017)}{2 \cdot 1,015 \cdot \left(1 + \frac{1,015}{0,074} \right) \cdot 2,0 \cdot (685,18 + 37000)} = 0,063 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Повний індуктивний опір:

$$X_{k3} = z_{k3} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} = 0,431 \cdot \sqrt{1 - 0,9^2} = 0,188 \text{ Ом.} \quad (2.21)$$

Повний активний опір:

$$R_{k3} = \sqrt{z_{k3}^2 - X_{k3}^2} = \sqrt{0,431^2 - 0,188^2} = 0,388 \text{ Ом.} \quad (2.22)$$

Приведений індуктивний опір:

$$X'_2 = \frac{X_{кз}}{\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)} = \frac{0,188}{\left(1 + \frac{0,063}{0,099}\right)} = 0,115 \text{ Ом.} \quad (2.23)$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1 = X_{кз} - X'_2 = 0,188 - 0,115 = 0,073 \text{ Ом.} \quad (2.24)$$

Індуктивності:

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{\frac{U_{1\phi}}{\sqrt{3}}}{2 \cdot p \cdot f_1 \cdot I_n \cdot \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{\cos \varphi \cdot S_n}{S_k} \right)} = \\ &= \frac{\frac{380,0}{\sqrt{3}}}{2 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 67,9 \cdot \left(\sqrt{1 - 0,9^2} - \frac{0,9 \cdot 0,017}{0,074} \right)} = 0,141 \text{ Гн.} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$L_2 = 0,141 \text{ Гн.}$$

Індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_{\sigma 1} &= \frac{1}{4 \cdot p \cdot f_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{U_{1\phi}}{\sqrt{3}}}{\beta \cdot I_n} \right)^2 - (r_1 + r_2)^2} = \\ &= \frac{1}{4 \cdot 1 \cdot 50} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{380,0}{\sqrt{3}}}{7,5 \cdot 67,9} \right)^2 - (0,063 + 0,099)^2} = 0,001225 \text{ Гн.} \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$L_{\sigma 2} = 0,001225 \text{ Гн.}$$

Електрорушійні сили:

$$e_{11} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_n - r_1 \cdot I_n = \frac{380}{\sqrt{3}} \cdot 0,9 - 0,063 \cdot 67,9 = 193,176 \text{ В;} \quad (2.27)$$

$$e_{12} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_n - X_1 \cdot I_n = \frac{380}{\sqrt{3}} \cdot 0,9 - 0,073 \cdot 67,9 = 192,497 \text{ В;} \quad (2.28)$$

Опір взаємоіндукції:

$$X_m = \frac{\sqrt{e_{11}^2 + e_{12}^2}}{I_\mu} = \frac{\sqrt{193,176^2 + 192,497^2}}{15,57} = 17,515 \text{ Ом.} \quad (2.29)$$

Взаємна індуктивність:

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi \cdot 50} = \frac{17,515}{2\pi \cdot 50} = 0,056 \text{ Гн.} \quad (2.30)$$

2.3 Вибір перетворювача частоти

Установка перетворювача частоти у систему керування насосним агрегатом дозволяє регулювати продуктивність насоса та підтримувати стабільний тиск у системі.

При виконанні регулювання частоти одночасно змінюється і напруга мережі живлення. Наприклад, зниження швидкості обертання насоса в 2 рази приведе до зниження споживаної двигуном потужності у 8 разів.

Насос - це навантаження вентиляторного типу, і має відповідно такий закон керування:

$$\frac{U}{f^2} = \text{const} \quad (2.31)$$

$$M_e = \omega^2. \quad (2.32)$$

ПЧ виконує регулювання за умов:

$$U_1 = \text{var}; f_1 = \text{var}. \quad (2.33)$$

Я буду вибирати ПЧ, виходячи з умов:

$$I_{\text{вих.ПЧ}} \geq I_{1н}; \quad (2.34)$$

$$U_{\text{вих.ПЧ}} \geq U_{1н}. \quad (2.35)$$

Для моїх розрахунків та керуванням приводу насосу підходить перетворювач частоти ATV950D37N4 ATV950 (Altivar 950) (рис. 2.2) торгової марки SCHNEIDER ELECTRIC. Його параметри наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики перетворювача ATV950D37N4 ATV950

Технічні характеристики	Значення
Бренд	Schneider Electric
Серія	Altivar 950
SKU	ATV950D37N4
Основна потужність, кВт	37,0
Напруга живлення, В	380
Номинальний струм, А	74,5
Максимальна вихідна частота, Гц	500
Тормозний модуль	+
Векторний режим керування	+
Лінійний закон управління U/f	+
Квадратичний закон управління U/f ²	+
Максимальна кількість фіксованих швидкостей	16
Число аналогових входів	3
Число дискретних входів	8
Число аналогових виходів	2
Кількість дискретних (транзисторних) виходів	1
Кількість релейних виходів	3



Рисунок 2.1 – Перетворювач частоти ATV950D37N4 ATV950

Даний перетворювач частоти ATV950D37N4 ATV950 забезпечує великий ряд захистів для приводного двигуна насоса: тепловий, відключення захисту при перевищенні обертового моменту, фазовий вихід двигуна, тепловий захист приводу, надлишкова температура, надструм між вихідною фазою і землею, перевантаження вихідної напруги, від короткого замикання, фазовий вихід двигуна, перенапруга на шині постійного струму, лінія живлення високої напруги, висока напруга живлення, значне зниження напруги ЛЕП, перевищення швидкості, відключення в схемі керування.

2.4 Статичні характеристики роботи насоса К 100-65-250 за системою ПЧ-АД

Рівняння механічної характеристики:

$$M(\omega, f, U) = \frac{m \cdot p \cdot K_e^2 \cdot U^2 \cdot R_2}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot f \cdot S(\omega, f) \cdot \left[\left(R + \frac{c_1 \cdot R_2}{S(\omega, f)} \right)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2}) \right]} \quad (2.36)$$

Статичний момент опору:

$$M_c(\omega) = 14,96 + 105,44 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{0н}} \right)^2 \quad (2.37)$$

Механічна характеристика двигуна $\omega = f(M)$ та статичного моменту приведена на рис. 2.2.

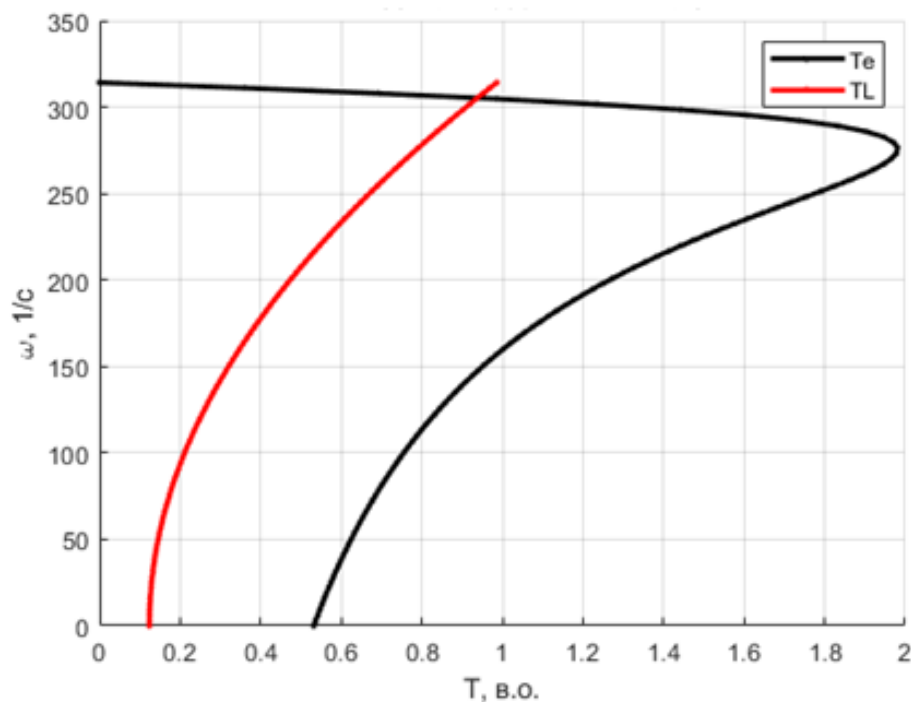


Рисунок 2.2 – Природня механічна характеристика АД разом із навантаженням статичним

Швидкісні характеристики двигуна $\omega = f(I_1)$ та $\omega = f(I_2)$ побудовані та наведені на рис. 2.3, 2.4.

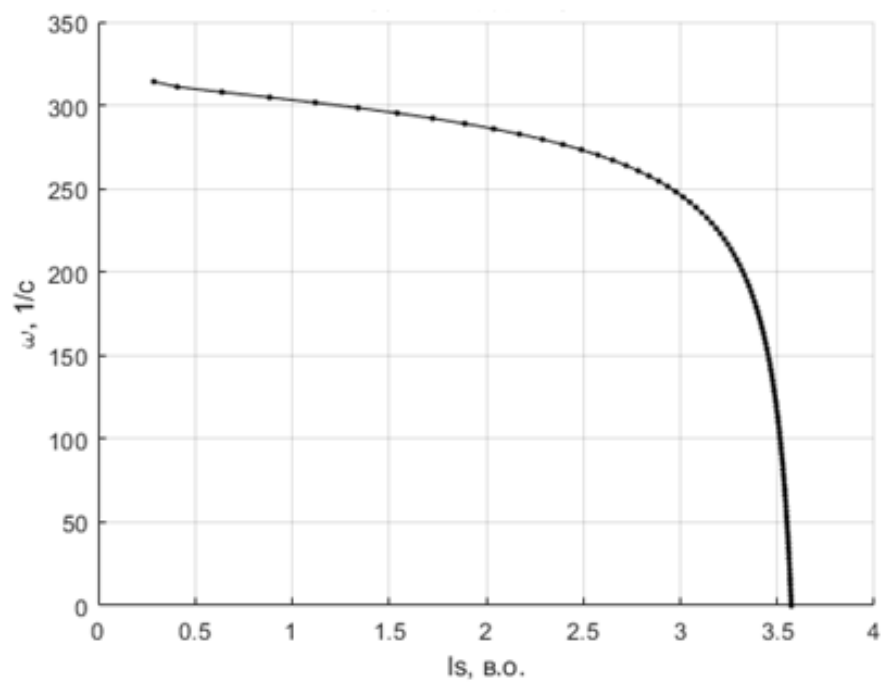


Рисунок 2.3 – Швидкісна характеристика двигуна за струмом статора

$$\omega = f(I_1)$$

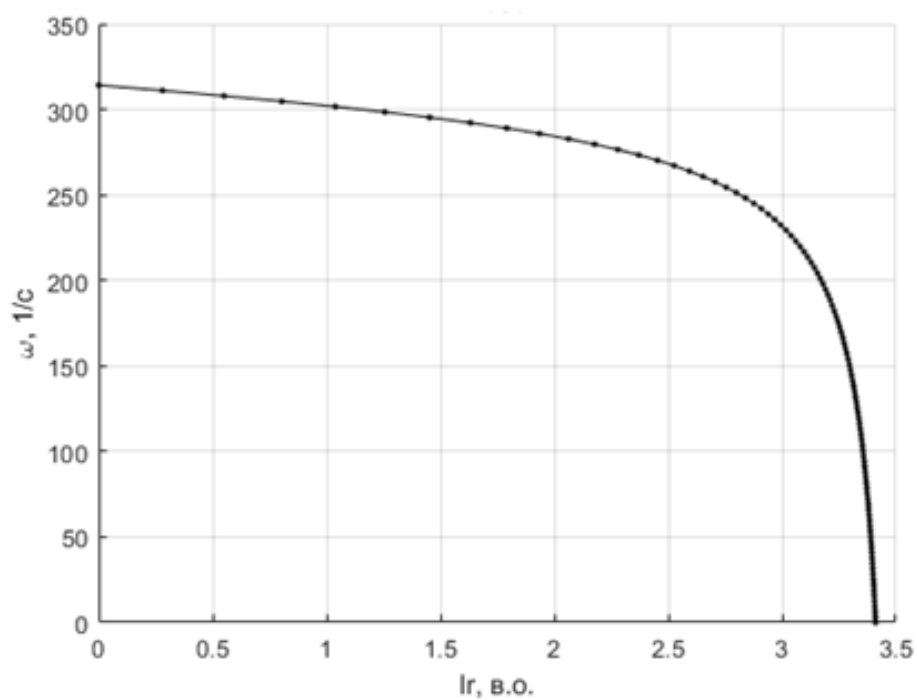


Рисунок 2.4 – Швидкісні характеристики двигуна за струмом ротора

$$\omega = f(I_2)$$

Штучні характеристики побудуємо для таких частот:

$$f_1 = 0,2 \cdot f_n = 0,2 \cdot 50 = 10,0 \text{ Гц};$$

$$f_2 = 0,4 \cdot f_n = 0,4 \cdot 50 = 20,0 \text{ Гц};$$

$$f_3 = 0,6 \cdot f_n = 0,6 \cdot 50 = 30,0 \text{ Гц};$$

$$f_4 = 0,8 \cdot f_n = 0,8 \cdot 50 = 40,0 \text{ Гц};$$

$$f_5 = 1,0 \cdot f_n = 1,0 \cdot 50 = 50,0 \text{ Гц};$$

Механічні характеристики, які отримані при зміні частоти і напруги живлення (штучні) надаються на рис. 2.5.

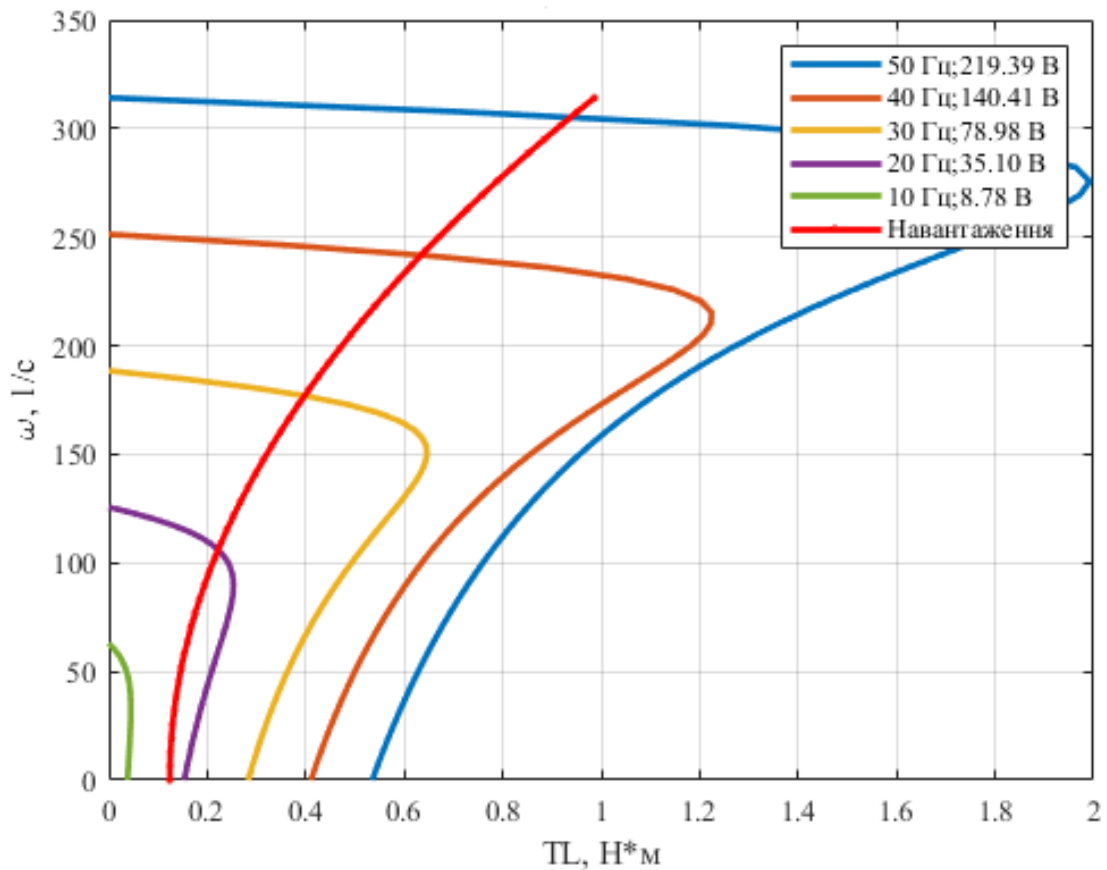


Рисунок 2.5 - Сімейство механічних характеристик при зміні частоти і напруги мережі живлення

Як видно з отриманих залежностей, частота менша за 15 Гц не дозволяє розвинути необхідний момент для подолання моменту опору насоса на початку обертання. Тому, мінімальну частоту рекомендується вибирати (встановлювати) 20 Гц.

Швидкісні характеристики будуються як функція струму від частоти, кутової частоти обертання і напруги:

$$I_2(\omega, f, U) = \frac{U}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S(\omega, f)}\right)^2 + (2\pi f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2\pi f \cdot L_{\sigma 2})^2}} \quad (2.38)$$

$$\sin \varphi_2(\omega, f, U) = \frac{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2})^2}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S(\omega, f)}\right)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2})^2}} \quad (2.39)$$

$$I_\mu = I_{1\mu} \cdot \left(\sin \varphi_\mu - \frac{\cos \varphi_\mu}{\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}} \right) \quad (2.40)$$

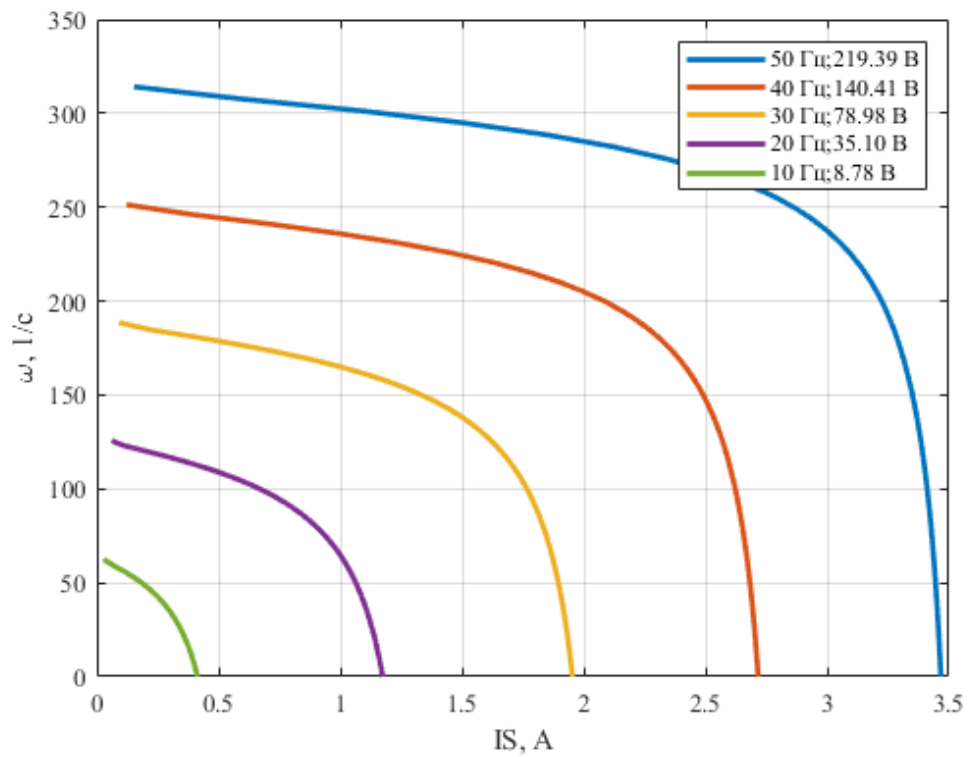
$$I_1(\omega, f, U) = \sqrt{I_\mu^2 + I_2(\omega, f, U)^2 + 2 \cdot I_\mu \cdot I_2(\omega, f, U) \cdot \sin \varphi_2(\omega, f, U)} \quad (2.41)$$

де $I_2(\omega, f, U)$ - струм ротора,

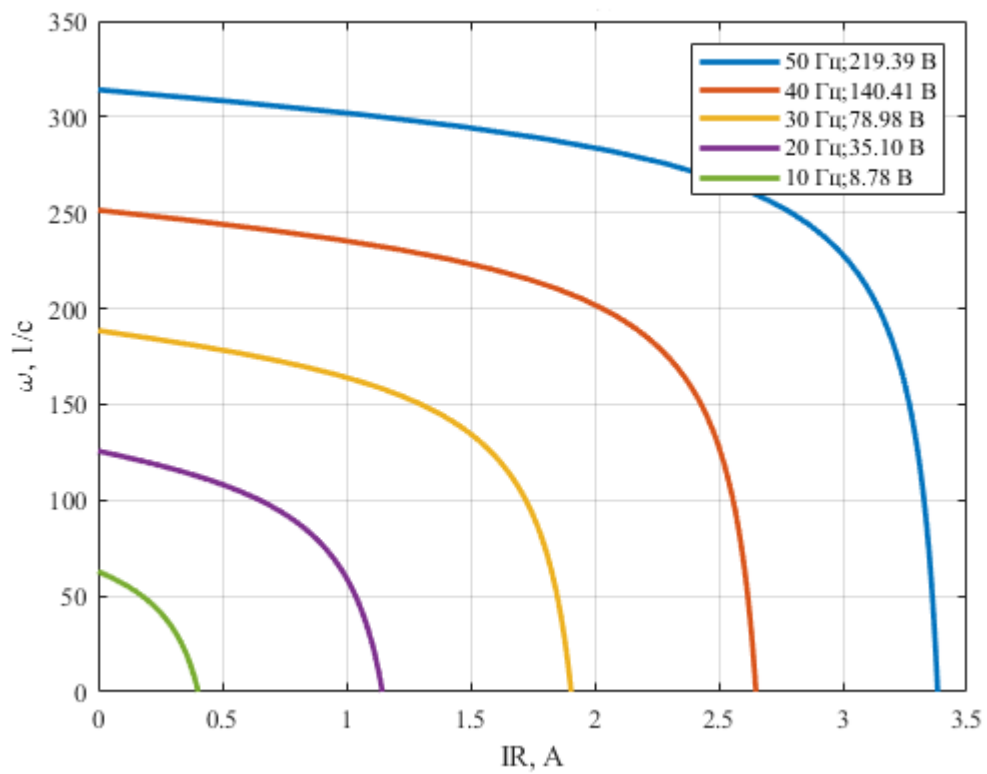
$I_\mu(\omega, f, U)$ - струм намагнічування,

λ_m - перевантажувальна здатність двигуна.

Швидкісні характеристики для вище заданих частот надаються на рис. 2.6.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Швидкісні характеристики (штучні):
 а) за струмом статора $\omega = f(I_1)$; б) за струмом ротора

Коефіцієнт корисної дії:

$$P_1(\omega, f, U) = 3 \cdot U \cdot I_1(\omega, f, U) \cdot \cos \varphi_H \quad (2.42)$$

$$\eta(\omega, f, U) = \frac{M(\omega, f, U) \cdot \omega}{S(\omega, f, U) \cdot \cos \varphi_H} \quad (2.43)$$

де $P_1(\omega, f, U)$ - спожита потужність.

Енергетичні характеристики (штучні) $\eta = f(\omega)$ надаються рис. 2.7.

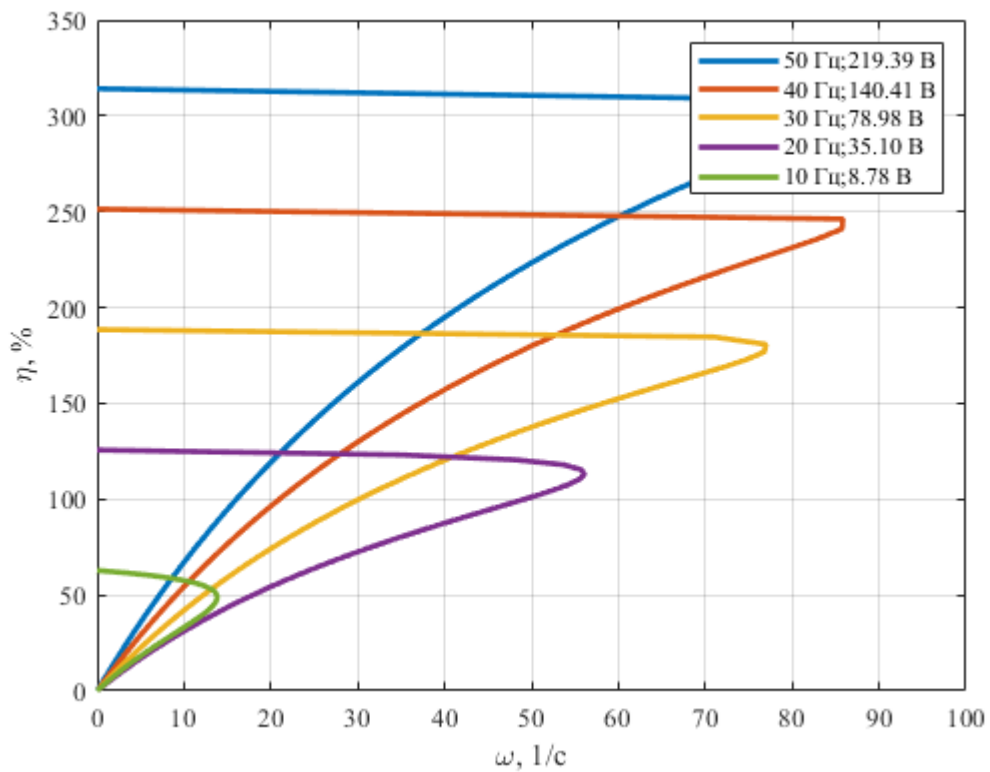


Рисунок 2.7 – Енергетичні характеристики (штучні) $\eta = f(\omega)$

Аналізуючи характеристики рис. 2.7 зрозуміло, що найбільше значення ККД буде при номінальній частоті обертання двигуна.

2.5 Математичне моделювання динамічних режимів АД у MATLAB/Simulink

Математична модель асинхронного двигуна з моментом опору вентиляторного характеру, використовуючи елементи бібліотеки SimPower надається на рис. 2.8.

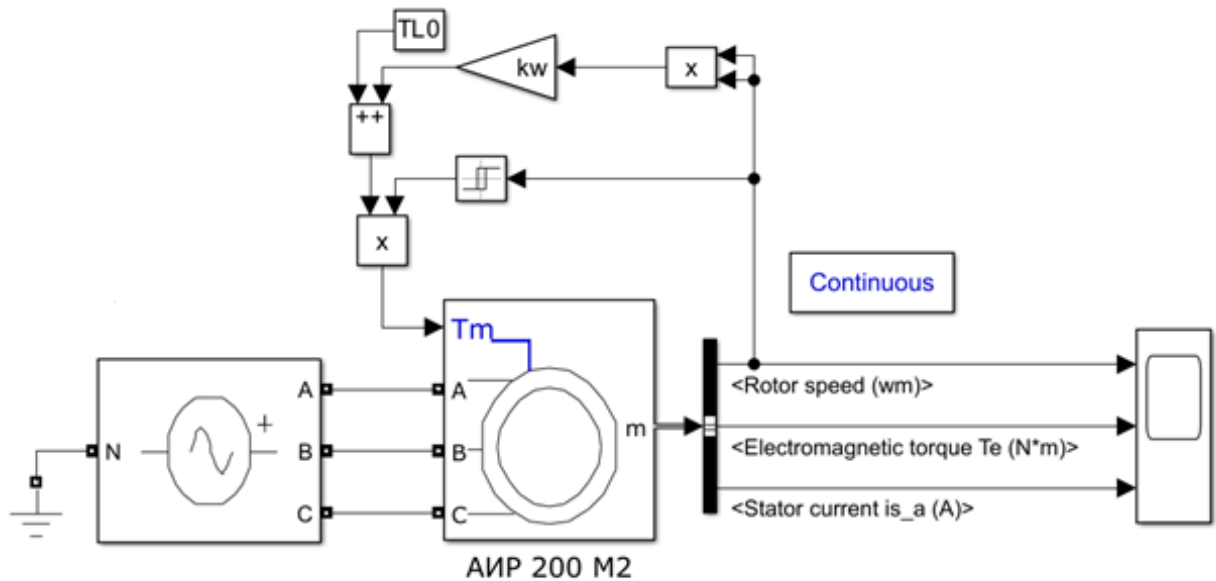
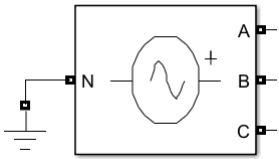
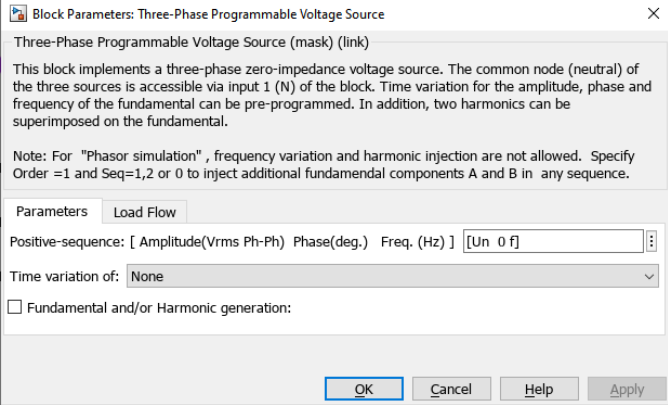
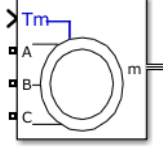
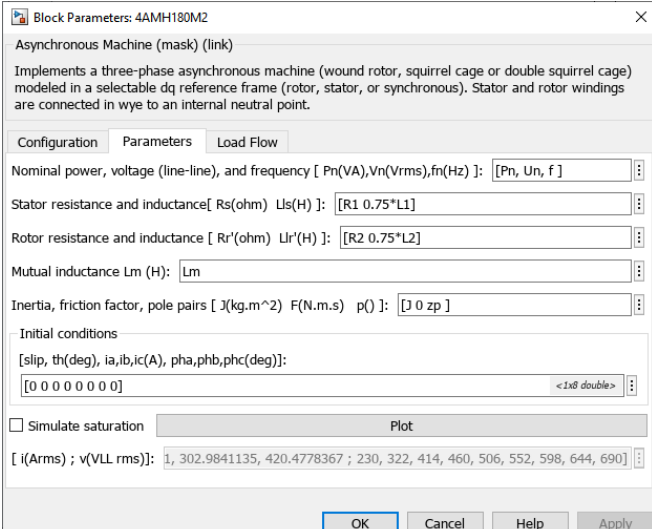


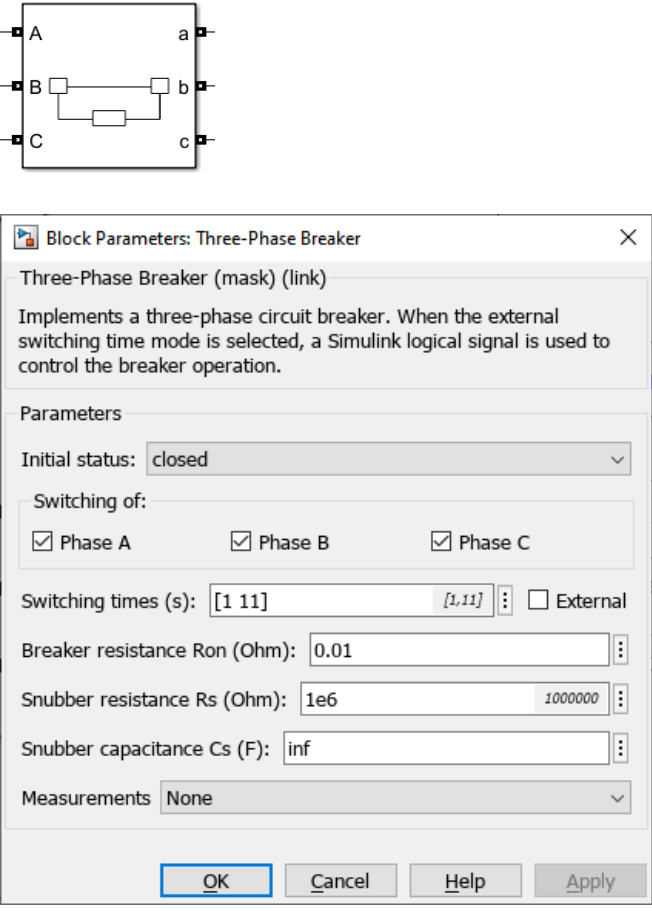
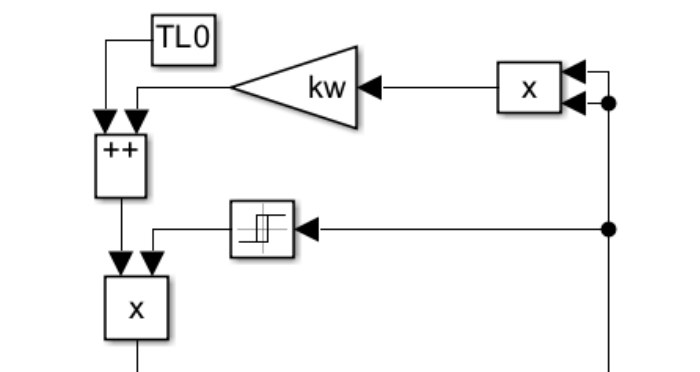
Рисунок 2.8 - Математична модель асинхронного двигуна насоса К 100-65-250

Для дослідження режимів роботи АД вентилятора при аварійному вимкненні живлячої напруги до моделі додано блок керованого трифазного вимикача.

Основні блоки математичної моделі представлені у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні блоки розробленої математичної моделі №1

Блок моделі	Назва та призначення блока
 	<p>Блок для моделювання живлення 380 В (з'єднання обмоток - зірка, з глухозаземленим нулем)</p>
 	<p>Блок для моделювання двигуна АІР 20 М2 з вище розрахованими параметрами</p>

 <p>The top part of the image shows a schematic diagram of a three-phase circuit breaker with terminals labeled A, B, C on the left and a, b, c on the right. Below it is a screenshot of the 'Block Parameters: Three-Phase Breaker' dialog box. The dialog includes a description: 'Three-Phase Breaker (mask) (link) Implements a three-phase circuit breaker. When the external switching time mode is selected, a Simulink logical signal is used to control the breaker operation.' The 'Parameters' section shows 'Initial status' set to 'closed', 'Switching of' checked for 'Phase A', 'Phase B', and 'Phase C', 'Switching times (s)' set to '[1 11]', 'Breaker resistance Ron (Ohm)' set to '0.01', 'Snubber resistance Rs (Ohm)' set to '1e6', 'Snubber capacitance Cs (F)' set to 'inf', and 'Measurements' set to 'None'. Buttons for 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply' are at the bottom.</p>	<p>Блок трифазного вимикача для моделювання включення та відключення напруги за допомогою АВР</p>
 <p>The diagram shows a Simulink model for a fan load. It starts with a 'TLO' block (Three-Phase Transformer) connected to a three-phase source. The output goes through a gain block 'kw' and a three-phase switch block 'x'. The switch 'x' is controlled by a signal from a '++' block (likely a relay or control logic). The output of the switch is connected to a three-phase motor block 'x'. A scope block is used to monitor the output of the motor.</p>	<p>Підсистема для моделювання навантаження вентиляторного типу</p>

Для розрахунку динамічних режимів використовувався вирішувач ode23tb з автоматичним вибором кроку інтегрування. Вирішувач ode23tb використовується для жорстких систем диференціальних рівнянь, реалізує неявну формулу Рунге-Кутта з трапецієподібним кроком правила як першим етапом і формулою зворотного диференціювання.

Результати проведеного математичного моделювання прямого пуску електропривода насоса К 100-65-250 наведено на рис. 2.9.

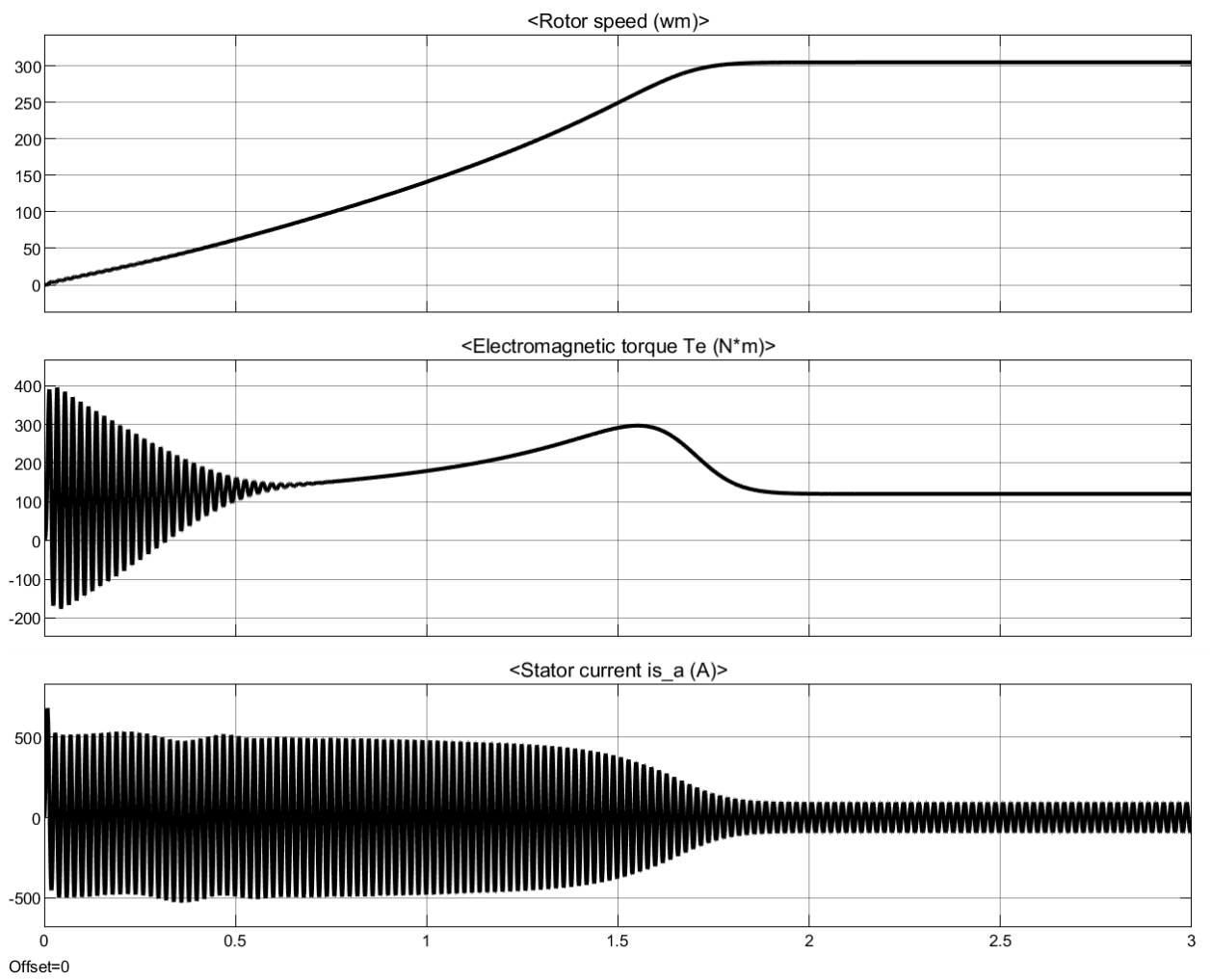


Рисунок 2.9 – Прямой пуск электропривода насоса К 100-65-250

2.6 Математичне моделювання електропривода з частотним керуванням у MATLAB/Simulink

Дане математичне моделювання ПЧ-АД проведемо також з використанням MATLAB/Simulink. Цей вибір пояснюється тим, що бібліотека SimPower містить вже готові рішення для поставленої у роботі задачі.

Математична модель ПЧ-АД з векторним керуванням ПЧ наведена на рис. 2.10.

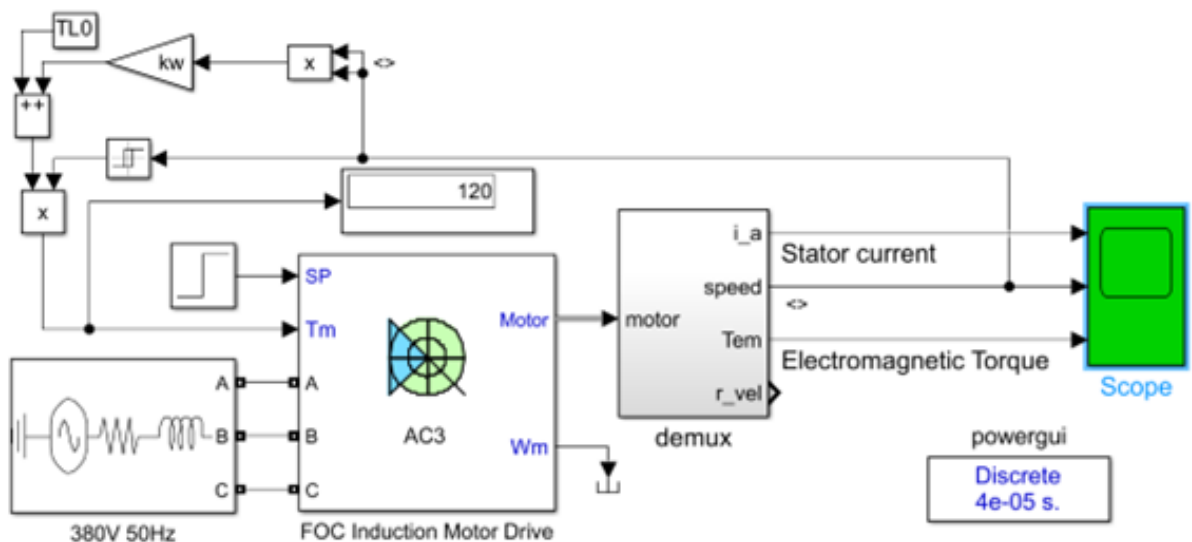
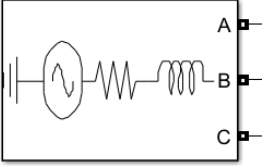
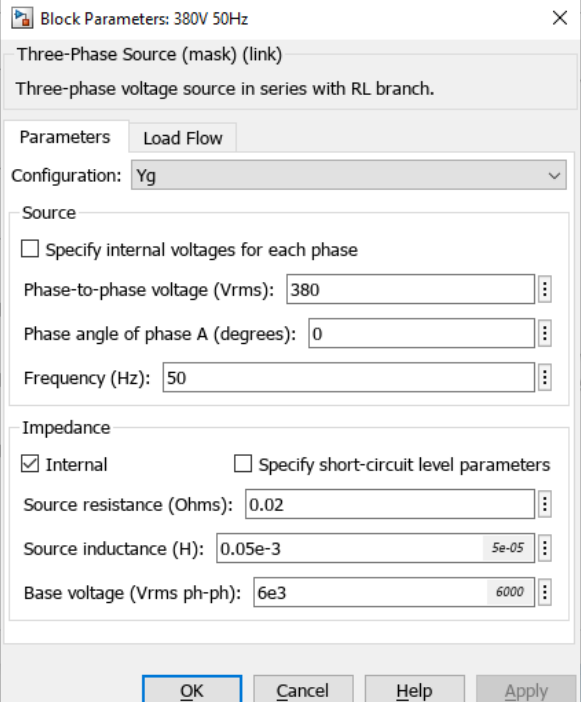
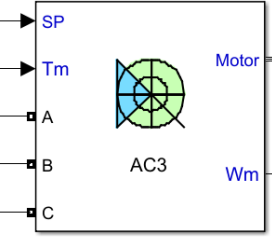


Рисунок 2.10 – Математична модель електроприводу насоса К 100-65-250 з частотно-керуванним асинхронним електроприводом

Стандартний елемент частотно-керуваного асинхронного електропривода бібліотеки MATLAB/Simulink має вбудовані засоби для розрахунку параметрів регуляторів кутової швидкості та магнітного потоку ротору для векторної системи керування.

Знову основні блоки математичної моделі я представив у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні блоки розробленої математичної моделі №2

Блок моделі	Назва та призначення блока
 <p>380V 50Hz</p> 	<p>Блок для моделювання живлення 380 В (з'єднання обмоток - зірка, з глухозаземленим нулем)</p>
 <p>FOC Induction Motor Drive</p>	<p>Блок для моделювання частотно-керованого електроприводу з двигуном АИР 20 М2 з вище розрахованими параметрами</p>

Підсистема для
 моделювання
 навантаження
 вентиляторного типу

Графіки електромеханічних процесів, які відбуваються у моделі з параметрами асинхронного двигуна АІР 200 М2 наведено на рис. 2.11. Надаються діаграми струму статора, швидкості та електромагнітного моменту АД. Запуск насоса здійснюється до зниженої частоти обертання, яка дорівнює 1500 об/хв. При часі $t = 2$ с відбувається розгін електропривода насоса К 100-65-250 до номінальної швидкості 3000 об/хв.

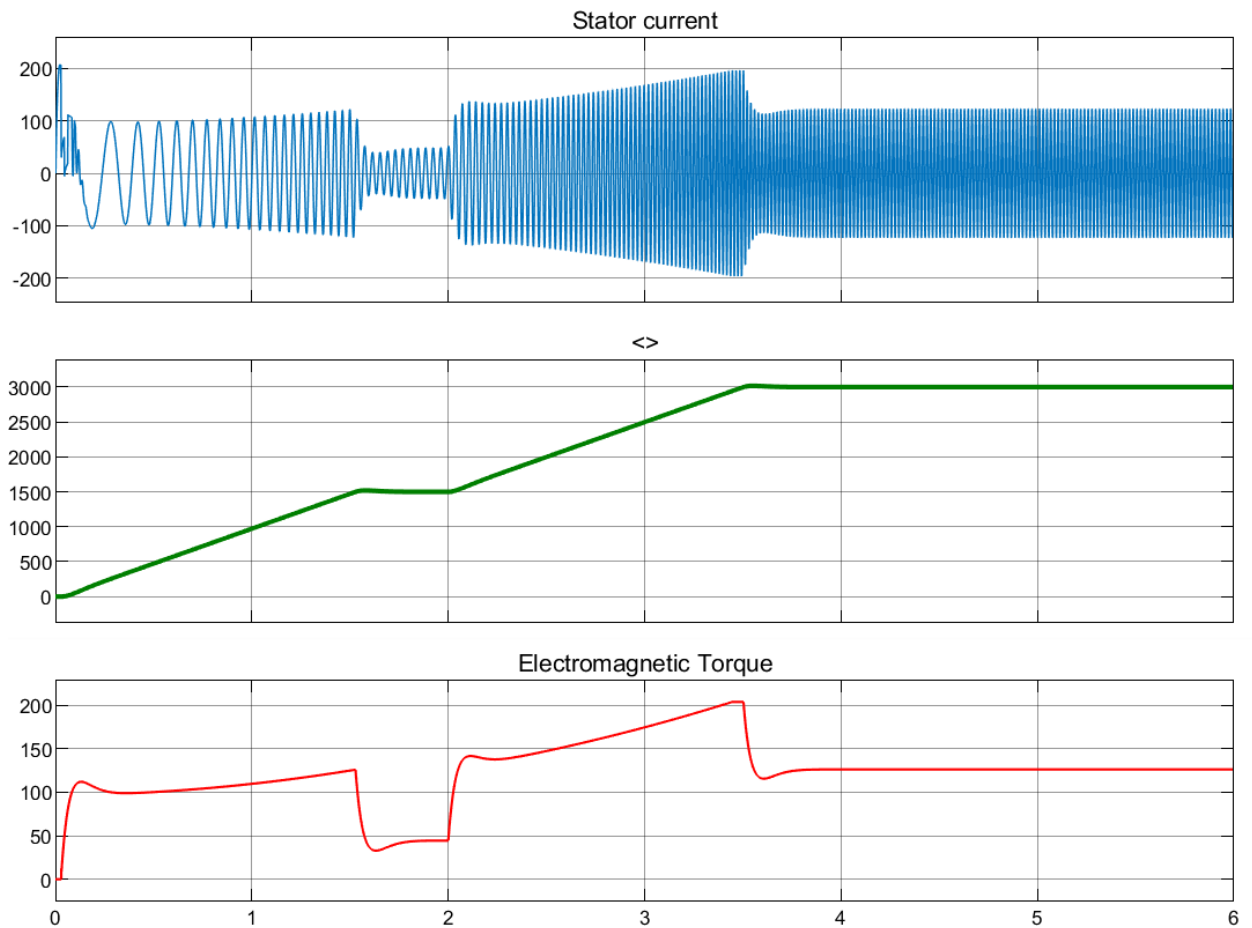


Рисунок 2.11 – Динамічні режими запуску частотно-керованого електроприводу насоса К 100-65-250 та розгону до повної швидкості: струм статора, частота обертання, електромагнітний момент

2.7 Схеми керування основним обладнанням банного комплексу

Розглянемо системи керування основним обладнанням банного комплексу підприємства.

Я працюю на підприємстві, обслуговуючи обладнання банного комплексу також. Наведені у роботі принципові схеми установок вентиляції (здійснення пуску), вертикального насосу, трубчастого нагрівача, насосу підвищувача мені добре знайомі, вони використовуються на підприємстві (рис. 2.12 – 2.15).

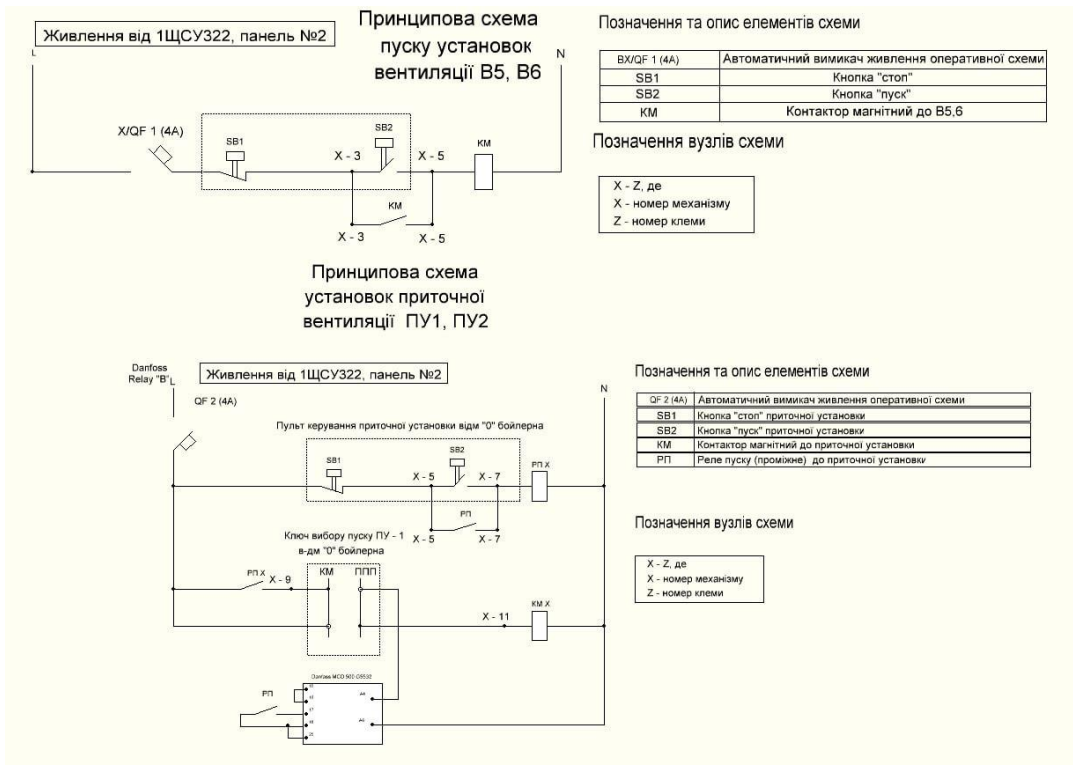


Рисунок 2.12 – Принципові схеми вентиляційних установок

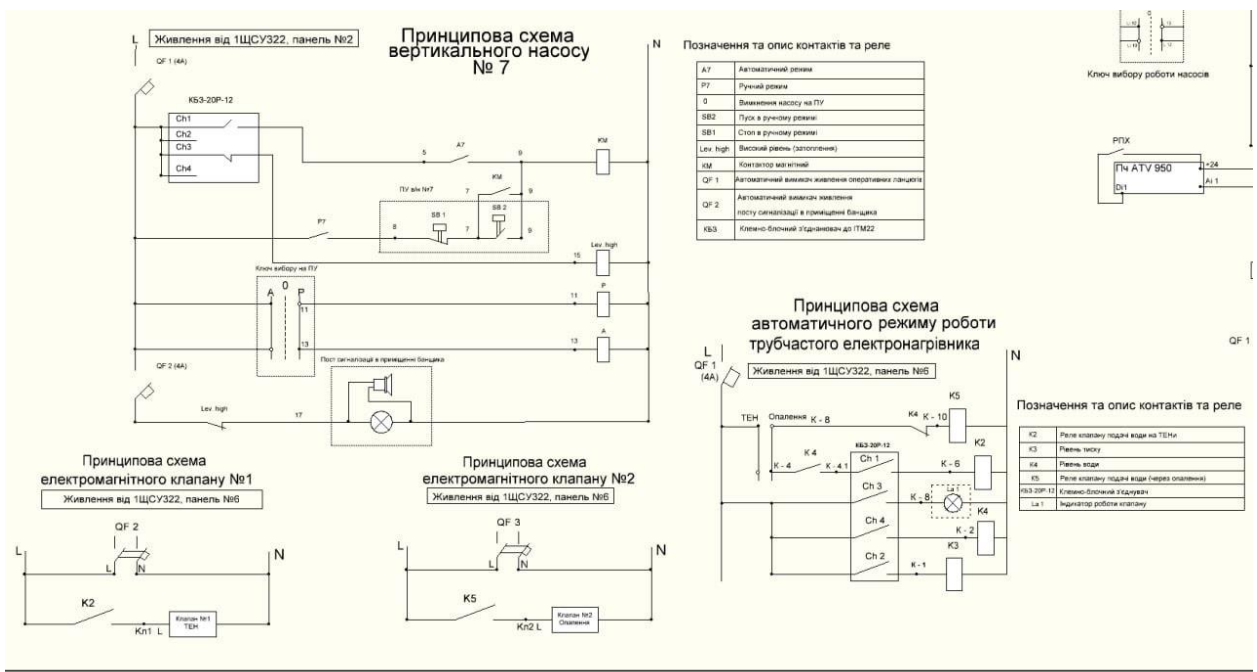


Рисунок 2.13 – Принципова схема вертикального насоса

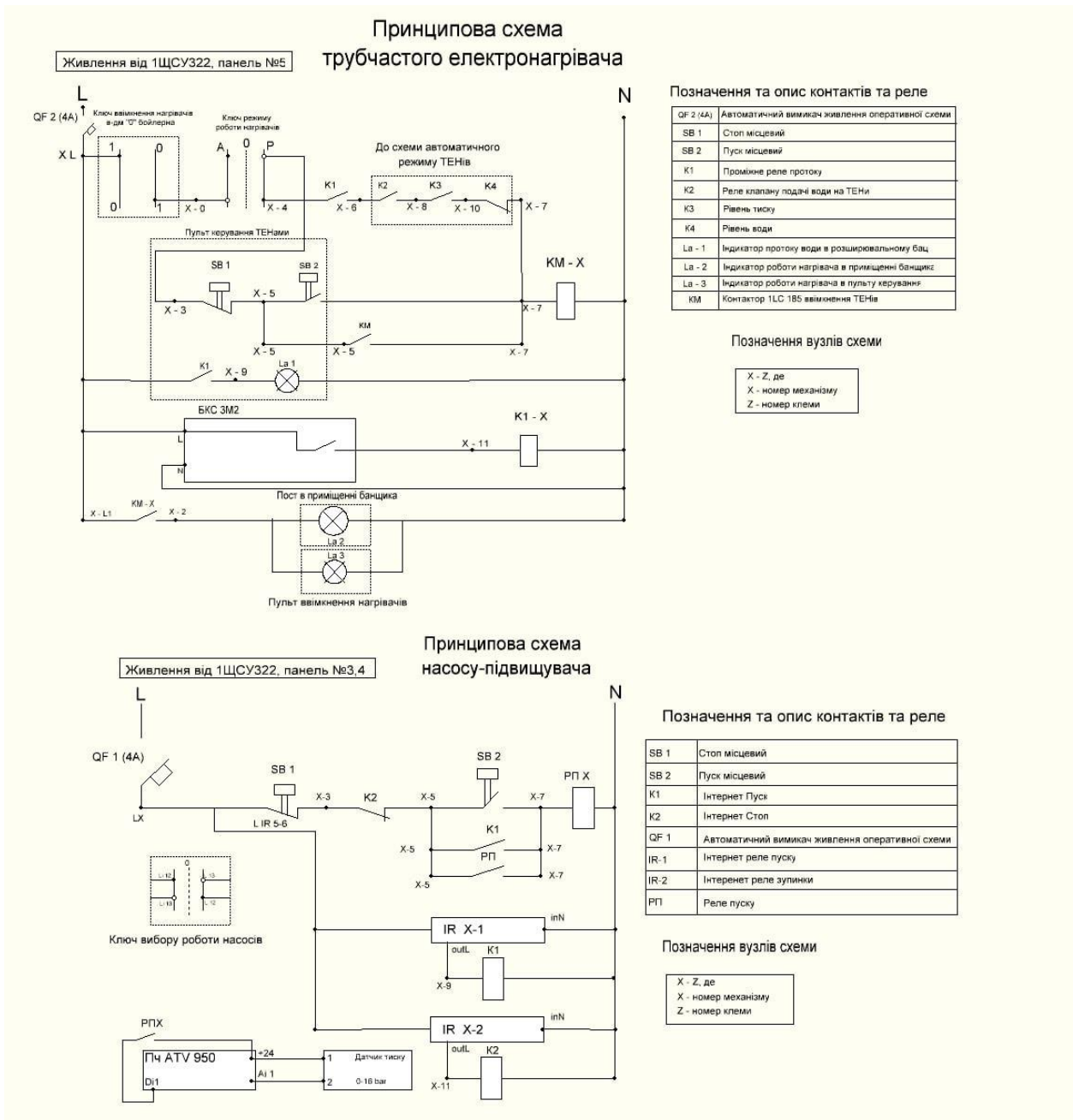


Рисунок 2.14 – Принципові схеми трубчастого електронагрівача та насосу-Підвищувача



Рисунок 2.15 – Принципова схема насос-підвищувача №14

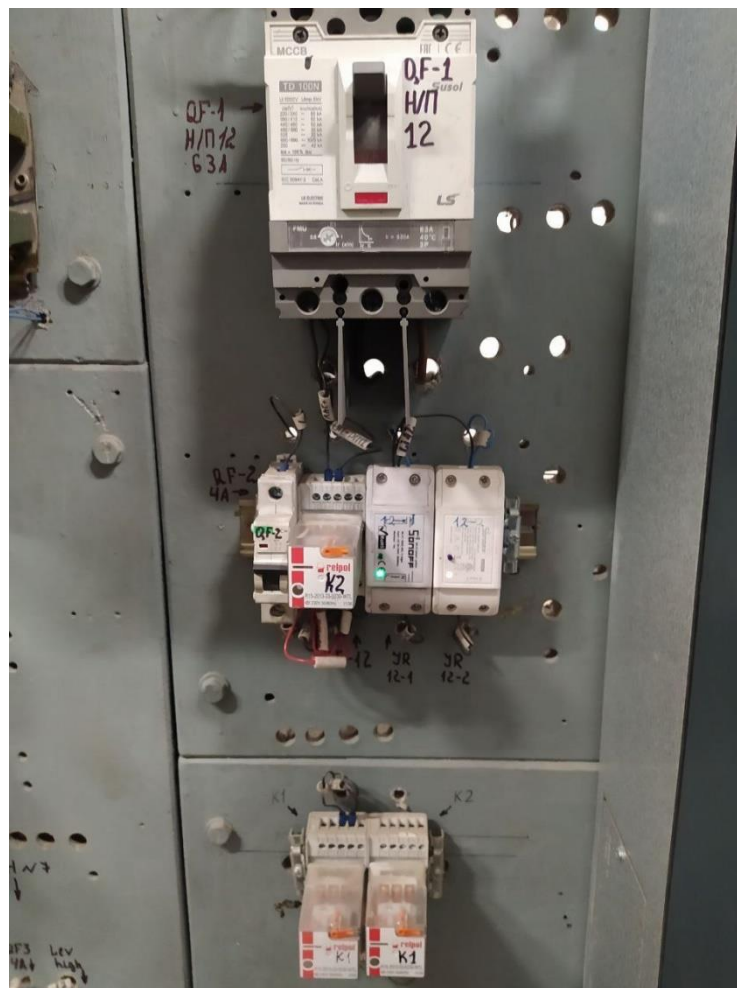


Рисунок 2.16 – Оперативна схема підключення насоса на панелі (ЩСУ)

ВИСНОВКИ

У другому розділі вибраний перетворювач частоти ATV950D37N4 ATV950 для керування насосом К 100-65-250, який встановлений у банному комплексі.

Побудовані статичні характеристики самого приводного двигуна типу АИР 200 М2 і характеристики з частотним керуванням цим електроприводом.

Отримані результати математичного моделювання прямого пуску електропривода насоса К 100-65-250, а також динамічні режими роботи насоса з частотним керуванням (система ПЧ-АД) з використанням MATLAB/Simulink.

Наведені працюючі на підприємстві принципові схеми установок вентиляції, насосних агрегатів і трубчастого нагрівача.

3.1 Загальні відомості щодо електропостачання дробильної фабрики

Схеми електропостачання дробильної фабрики та її банного комплексу Показані на рис. 3.1 і 3.2.

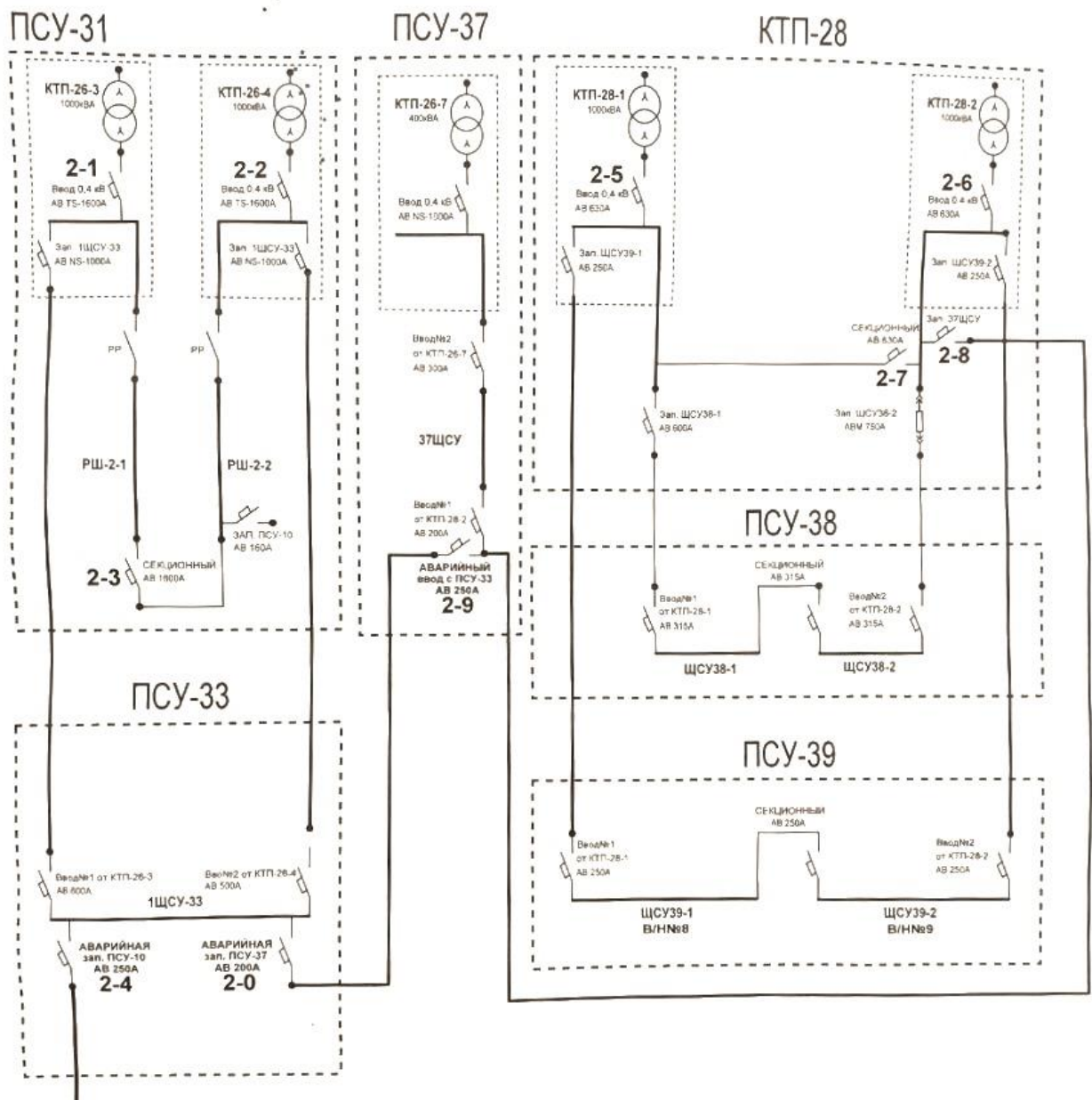


Рисунок 3.1 - Схема електропостачання окремої виробничої ділянки №2

3.2 Розрахунок електричних навантажень дробильної фабрики

Враховуючи навантаження дробильної фабрики та відомі вирази :

$$P_{роз} = \sum P_n \cdot K_{П}; \quad Q_{роз} = P_{роз} \cdot tg\varphi; \quad S_{роз} = \sqrt{P_{роз}^2 + Q_{роз}^2} \quad \text{проведемо усі}$$

попередньо необхідні розрахунки для вибору силових трансформаторів, які встановлено на трансформаторній підстанції (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Потужність навантажень

Групи споживачів	Потужн. один. спожив., кВт	Кільк. шт	Сума потужн., кВт	Кп	tgφ	cosφ	Розрахункові потужності		
							$P_{роз}$, кВт	$Q_{роз}$, кВАр	$S_{роз}$, кВА
Трансформатор ТДН-32000/115		2							32000
Секції 6 кВ									
Дробарка	315	9	2835	0,55	0,88	0,75	1559	1372	2077
Конвеєр	500	2	1000	0,55	0,88	0,75	550	484	733
Конвеєр	800	2	1600	0,55	0,88	0,75	880	774	1172
Конвеєр основні привода	800	1	800	0,55	0,88	0,75	440	387	586
Конвеєр додаткові привода	315	1	315	0,55	0,88	0,75	173	95	197
Пересувний конвеєр	37	2	74	0,55	0,88	0,75	41	23	47
Всього 6 кВ									4812
Трансформатор ТМ-1000/35	1000 кВА	1	1000	0,8	0,62	0,8			1000
Трансформатор (резервний)	1000 кВА	1	1000	0,8	0,62	0,8			1000
Секції 0,4 кВ									
Конвеєр	57	4	228	0,55	0,88	0,75	125	110	167
Конвеєр	22	10	220	0,55	0,88	0,75	121	107	162
Грохит	11	16	176	0,55	0,88	0,75	97	85	130
Маслостанція	12	8	96	0,75	0,75	0,8	72	54	90
Пересувний конвеєр (привод пересування)	15	2	30	0,55	0,88	0,75	17	15	23
Крани, 5 т	40	2	80	0,5	0,62	0,8	40	25	47
Освітлення	20	1	20	0,8	0,35	0,94	16	6	17
Освітлення зовнішнє	50	1	50	0,4	0,45	0,9	20	9	22
Управління воротами	20	1	40	0,6	0,85	0,75	24	20	31
Калорифер	40	10	400	0,3	0,57	0,87	120	68	138
Вентилятор	10	10	100	0,5	0,58	0,84	50	29	58
Банний комплекс:									
Насосний агрегат (К 100-65-250)	37	3	111	0,75	0,75	0,8	83	62	104
Насосний агрегат №1, 2	37	4	148	0,75	0,75	0,8	111	83	139

Вертикальний насос	37	1	37	0,75	0,75	0,8	28	21	35
Вентилятори	11	2	22	0,8	0,75	0,8	18	14	23
Трубчастий електронагрівач	10	3	30	0,8	0,62	0,95	24	15	28
Освітлення	5	1	5	0,8	0,35	0,94	4	1,5	4
Всього 0,4 кВ									1218

Потужність трансформатора визначається за формулою:

$$S_{нТР} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_m \cdot K_{пер}}, \quad (3.1)$$

де $K_{1-2} = 0,8$ - коефіцієнт для споживачів 1-ї й 2-ї категорій;

$K_{зм} = 0,85$ - коефіцієнт зміщення *тах* навантаження;

$K_{пер} = 1,1 \div 1,3$ - коефіцієнт перевантаження;

$\eta_c = 0,9$ - коефіцієнт електричної мережі.

$$S_{нТР1} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_m \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 1218}{0,9 \cdot 1,1} = 836,6 \text{ кВА}$$

та з урахуванням неврахованого навантаження напругою 6,0 кВ

$$S_{нТР2} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_m \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 21000}{0,9 \cdot 1,1} = 14420 \text{ кВА.}$$

Вибираємо трансформатори (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Каталожні характеристики трансформаторів

Паспортні величини	Типи трансформаторів		
	ТД-16000/35	ТСЗ-1000/10	ТМН-400/6
Номінальна потужність, кВА	16000	1000	400
Номінальна первинна напруга, кВ	38,5	6,0	6,0
Номінальна вторинна напруга, кВ	6,6	0,4	0,4
Втрати холостого ходу, кВт	17,8	30	0,92
Втрати короткого замикання, кВт	90,0	11,2	5,5
Напруга короткого замикання, %	8,0	5,5	4,5
Струм неробочого ходу, %	0,6	1,5	2,3

3.3 Визначення струмів КЗ

Складемо схему заміщення електромережі дробильної фабрики (рис. 3.3).

Розрахунок проводиться за допомогою базисних величин:

- базисна потужність: $S_6 = 100$ МВА.
- базисні напруги: $U_{61} = 37$ кВ; $U_{62} = 6,3$ кВ; $U_{63} = 0,4$ кВ.
- середні напруги: $U_{c1} = 37$ кВ; $U_{c2} = 6,3$ кВ; $U_{c3} = 0,4$ кВ.

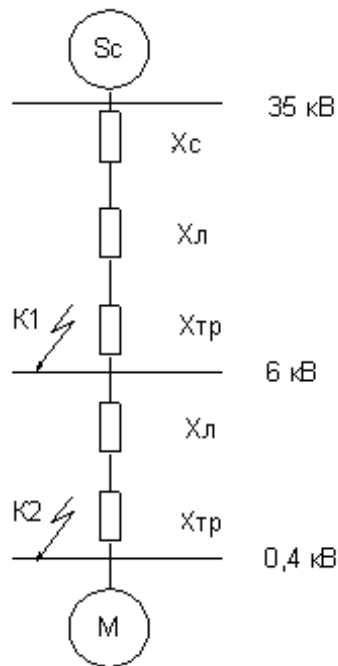


Рисунок 3.3 - Схема заміщення електромережі

Базисні струми розраховуємо так:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}. \quad (3.2)$$

Базисні струми, розраховані за виразом (3.2):

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,2 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 3}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,3 \text{ кА}.$$

Визначення струму КЗ (6000 В).

Згідно зі схемою заміщення знайдемо опори електричної мережі: точка

К1:

– опір турбогенератора:

$$X_{Г} = \frac{X_{ce} \cdot S_{\sigma}}{S_{нз}} = \frac{0,125 \cdot 100}{32} = 0,4 ; \quad (3.3)$$

де $X_{Г} = 0,125 \text{ Ом}$ – надперехідний поздовжній опір;

$S_{Г} = 32 \text{ МВА}$ – потужність;

– опір лінії 35 кВ:

$$X_{L1} = X_0 \cdot l_{л1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp1}^2} = 0,4 \cdot 4 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,117 \text{ ,} \quad (3.4)$$

де $X_0 = 0,4$ Ом/км – питомий опір повітряної лінії;

$$l_{л1} = 4 \text{ км.}$$

- опір трансформатора ТД-16000/35: $S_{тр1} = 16$ МВА, $u_{к1} = 8,0$ %:

$$X_{тр} = \frac{u_{к\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{нс}} = \frac{8,0 \cdot 100}{100 \cdot 16} = 0,5 \text{ ;} \quad (3.5)$$

- опір лінії електропередачі 6 кВ:

$$X_{L2} = \frac{X_{ол} \cdot l_{л} \cdot S_{\sigma}}{U_{н}^2} = \frac{0,08 \cdot 0,4 \cdot 100}{6,0^2} = 0,089 \text{ ,} \quad (3.6)$$

де $X_0 = 0,08$ Ом/км – питомий опір лінії;

$$l_{л2} = 0,4 \text{ км.}$$

Сумарний опір в К1:

$$X_{\Sigma 1} = X_c + \frac{X_{L1}}{2} + \frac{X_{тр1}}{2} + \frac{X_{L2}}{2} = 0,4 + \frac{0,117}{2} + \frac{0,5}{2} + \frac{0,089}{2} = 0,753. \quad (3.7)$$

Точка К1 підживлюється струмом високовольтних двигунів дробарок та конвеєрів (6 кВ) і це обов'язково треба враховувати (див. табл. 3.1):

$$I_{\delta вн} = \frac{S_{\delta вн}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta вн}} = \frac{4,812}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,441 \text{ кА,} \quad (3.8)$$

де $S_{\delta вн} = 4,812$ МВА – сумарні потужності приводних двигунів;

$U_{\delta вн} = 6,3$ кВ – номінальна напруга приводних двигунів.

Надперехідний струм:

$$I_{к1} = \frac{I_{\delta вн}}{X_{\Sigma 1}} + 6,5 \cdot I_{\delta вн} = \frac{9,2}{0,753} + 6,5 \cdot 0,441 = 15,084 \text{ кА,} \quad (3.9)$$

Надперехідна потужність:

$$S_{к1} = \frac{S_{\sigma}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{0,753} = 132,8 \text{ МВА.} \quad (3.10)$$

Ударний струм:

$$I_{y1} = K_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{кз1} = 1,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,084 = 40,531 \text{ кА,} \quad (3.11)$$

де $K_{y1} = 1,9$ – коефіцієнт.

Визначення струму КЗ (400 В).

Згідно зі схемою заміщення знайдемо опори (індуктивні та активні) електричної мережі: точка **К2**.

Генератор:

- індуктивний опір розраховано за формулою (3.3);
- активний опір = 0.

Лінія електропередачі 35 кВ:

- індуктивний опір розраховано за формулою (3.4);
- активний опір:

$$R_{л1} = \frac{R_{ол} \cdot l_{л1} \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma 2}^2} = \frac{0,27 \cdot 4 \cdot 100}{37^2} = 0,079, \quad (3.12)$$

де $R_{ол} = 0,27$ - активний опір повітряної лінії А-120.

Трансформатор ТД-16000/35: $S_{TP1} = 16$ МВА, $u_{к1} = 8,0$ %:

- індуктивний опір розраховано за формулою (3.5);
- активний опір:

$$R_{TP1} = \frac{\Delta P_m \cdot S_{\sigma}}{S_n \cdot S_n} = \frac{0,09 \cdot 100}{16 \cdot 16} = 0,035 \quad (3.13)$$

Трансформатор ТСЗ-1000/10: $S_{TP2} = 1,0$ МВА, $u_{к1} = 5,5$ %:

- індуктивний опір:

$$X_{TP2} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_n} = \frac{5,5 \cdot 100}{100 \cdot 1} = 5,5;$$

- активний опір:

$$R_{TP2} = \frac{\Delta P_m \cdot S_{\sigma}}{S_n \cdot S_n} = \frac{0,0112 \cdot 100}{1 \cdot 1} = 1,12.$$

Опір у К2:

- індуктивний:

$$X_{\Sigma 0,4} = X_{\Gamma} + \frac{X_{L1}}{2} + \frac{X_{TP1}}{2} + X_{TP2} = 0,4 + \frac{0,117}{2} + \frac{0,5}{2} + 5,5 = 6,159. \quad (3.14)$$

- активний:

$$R_{\Sigma 0,4} = \frac{R_{L1}}{2} + \frac{R_{TP1}}{2} + R_{TP2} = \frac{0,079}{2} + \frac{0,035}{2} + 1,12 = 1,177 \quad (3.15)$$

- сумарний:

$$z = \sqrt{X_{\Sigma 0,4}^2 + R_{\Sigma 0,4}^2} = \sqrt{6,159^2 + 1,177^2} = 6,27. \quad (3.16)$$

Струм в К2:

$$I_{\kappa 2} = \frac{I_{\delta 2}}{z} = \frac{144,3}{6,27} = 23,0 \text{ кА}. \quad (3.17)$$

Ударний струм:

$$I_{y2} = K_{y2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 2} = 1,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 23,0 = 61,8 \text{ кА}.$$

Надперехідна потужність:

$$S_{\kappa 2} = \frac{S_{\delta}}{z_{\Sigma}} = \frac{100}{6,27} = 16,0 \text{ МВА}. \quad (3.18)$$

3.4 Вибір елементів електромережі 6000 В

Шини.

Струм шини:

$$I_{\text{пш}} = \frac{S_{\text{ши}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ши}}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 1400 \text{ А}. \quad (3.19)$$

Обрано шини з алюмінія 60 мм х 6 мм (360 мм²);

- струм 1720 А;
- активний питомий опір $r_0 = 0,099$ Ом/км;
- індуктивний питомий опір $X_0 = 0,145$ Ом/км.

Економічний переріз для шин:

$$S_{EK} = \frac{I_{p1}}{J_{EK}} = \frac{1400}{1,3} = 1077 \text{ мм}^2, \quad (3.20)$$

де $J_{EK}=1,3$ А/мм² – економічна щільність струму, що рекомендується.

$$360 \text{ мм}^2 < 1077 \text{ мм}^2$$

Електродинамічна сила:

$$F = 1,76 \cdot I_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 0,1 = 1,76 \cdot 40,531^2 \cdot \frac{25}{15} \cdot 0,1 = 482,0 \text{ Н.} \quad (3.21)$$

Момент при вигоні шини:

$$M = F \cdot l = 482,0 \cdot 25 = 12050 \text{ Н} \cdot \text{см.} \quad (3.22)$$

Момент відносно вісі шини, що перпендикулярна дії електродинамічної сили:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1 \cdot 12^2}{6} = 24 \text{ см}^3. \quad (3.23)$$

Напруження у алюмінієвій шині:

$$\sigma_{\text{роз}} = \frac{M}{W} = \frac{12050}{24} = 502,0 \text{ Н/см}^2. \quad (3.24)$$

де $\sigma_{\text{дон}} = 16000 \text{ Н/см}^2$ – допустима напруга по ПУЕ.

$$502 \text{ Н/см}^2 < 1600 \text{ Н/см}^2$$

Термічна стійкість:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кз1}} \cdot \sqrt{t_{\text{кз}}}}{c} = \frac{15084 \cdot \sqrt{0,5}}{60} = 178,0 \text{ мм}^2, \quad (3.25)$$

$$178 \text{ мм}^2 < 360 \text{ мм}^2$$

Ізолятори.

Ізолятори необхідно встановлювати, враховуючи рід струму, напругу, та припустимі механічні навантаження.

Вибрано ізолятори типу Ю-6-3750:

- номінальна напруга, кВ - 6;
- мінімальне руйнівне зусилля, кН – 3,75.

Механічна міцність:

$$F \leq F_{\text{дон}} = 0,6 \cdot F_p, \quad (3.26)$$

де $F \leq F_{\text{дон}} = 0,6 \cdot 30000 = 18000 \text{ Н}$

$$482 \text{ Н} < 18000 \text{ Н}$$

Електрообладнання конвеєра

Згідно з табл. 3.1 розглянемо потужній конвеєр, де встановлений приводний двигун 800 кВт.

Номинальний струм двигуна такого конвеєра:

$$I_{\text{номдв}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 6,0 \cdot 0,88 \cdot 0,94} = 93,06 \text{ А} \quad (3.27)$$

Пусковий струм:

$$I_{\text{пуск}} = \beta \cdot I_{\text{номдв}} = 6,0 \cdot 93,06 = 558,36 \text{ А} \quad (3.28)$$

де β – кратність пускового струму.

Розрахуємо струми захисту:

- реле максимальної струмової відсічки:

$$I_{\text{спр}} = k_{\text{відс}} \cdot I_{\text{пуск}} = 1,8 \cdot 558,36 = 1005,0 \text{ А} \quad (3.29)$$

де $k_{\text{відс}}$ – коефіцієнт відсічки;

- захист від перевантаження:

$$I_{\text{спрпер}} = 1,25 \cdot I_{\text{номдв}} = 1,25 \cdot 93,06 = 116,325 \text{ А} \quad (3.30)$$

1) Силовий вимикач ВМПП-10-630-20У2 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Параметри вимикача ВМПП-10-630-20У2

Назва параметру	Паспортні дані
Номинальний струм	$I_n = 630 \text{ А}$
Номинальна напруга	$U_n = 10 \text{ кВ}$
Струм динамічної стійкості	$I_{\text{дс}} = 52 \text{ кА}$
Струм відключення	$I_{\text{відк}} = 20 \text{ кА}$
Термічна стійкість	$I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \text{ с}$
Тип привода	пружинний

2) Кабельні лінії конвеєра.

Вибрано кабель ААШВ 3х120.

Перевірка за нагрівом:

$$I_{\text{доп}} = 218 \text{ А} > I'_{\text{розр}} = 103,4 \text{ А} \quad (3.31)$$

Переріз кабелю за економічною щільністю:

$$S_{\text{ещ}} = \frac{I_{\text{розр}}}{i_{\text{ещ}}} = \frac{103,4}{2} = 51,7 \text{ мм}^2 \quad (3.32)$$

Мінімальний перетин кабелю:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}}{c} = \frac{15000 \cdot \sqrt{0,8}}{88} = 120,0 \text{ мм}^2 \quad (3.33)$$

де I_{∞} – стале значення струму КЗ;

$t_n = 0,8 \text{ с}$ – час протікання КЗ.

Втрати напруги у кабелі:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot \cos \varphi \cdot l_1 \cdot Z_0}{U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 93,6 \cdot 0,88 \cdot 0,06 \cdot 0,451}{6} = 0,64\% \quad (3.34)$$

де Z_0 – повний опір.

$$\Delta U = 0,64 \% < 5 \%$$

3.5 Вибір елементів електромережі 400 В

Шини.

Номінальний струм на шинах 400 В згідно з урахуванням потужності трансформатора:

$$I_{\text{нтр2}} = \frac{S_{\text{нтр2}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нтр2}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443 \text{ А} \quad (3.35)$$

Обрано шини з алюмінія 60 мм х 6 мм (360 мм²);

- струм 1720 А;
- активний питомий опір $r_0 = 0,099 \text{ Ом/км}$;
- індуктивний питомий опір $X_0 = 0,145 \text{ Ом/км}$.

Економічний переріз:

$$S_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{р1}}}{J_{\text{ЕК}}} = \frac{1443}{1,3} = 1110 \text{ мм}^2,$$

Електродинамічна сила:

$$F = 1,76 \cdot I_{\text{в}}^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 0,1 = 1,76 \cdot 61,8^2 \cdot \frac{25}{15} \cdot 0,1 = 1120 \text{ Н}$$

Момент на шині:

$$M = F \cdot l = 1120 \cdot 25 = 280000 \text{ Н}\cdot\text{см.}$$

Момент опору:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1 \cdot 12^2}{6} = 24 \text{ см}^3.$$

Напруга в алюмінії шини:

$$\sigma_{роз} = \frac{M}{W} = \frac{28000}{24} = 1167 \text{ Н/см}^2.$$

Термічна стійкість:

$$S_{ш} = \frac{I_{кз1} \cdot \sqrt{t_{кз}}}{c} = \frac{23000 \cdot \sqrt{0,5}}{60} = 271 \text{ мм}^2,$$

Кабель живлення насоса К 100-65-250.

Номінальний струм приводного двигуна насоса К 100-65-250 розраховано за виразом (2.5) і дорівнює 68 А.

Вибираємо кабель мідний ВВГ 4х6 (рис. 3.2).

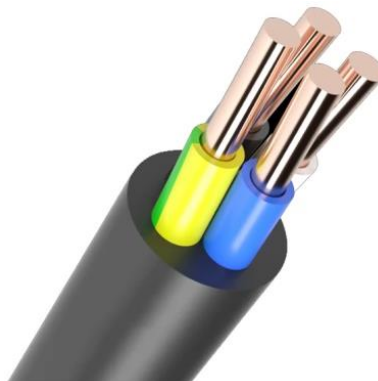


Рисунок 3.2 – Вигляд кабелю ВВГ 4х6

Струмове навантаження на одну житу кабелю складає 34 А; індуктивний опір - 0,09 Ом/км, активний опір - 5,26 Ом/км.

Пуско-захисна апаратура насоса К 100-65-250.

1) Автоматичні вимикачі за умовами:

$$I_{ел} \geq I_p, \quad (3.36)$$

- струм розчеплювача АВ за струмом лінії,

$$I_{снел} \geq kI_n = 1,4 \cdot 7,5 \cdot 68 = 714 \text{ А.} \quad (3.37)$$

Обираємо автомат типу А3140:

- номінальний струм вимикача – 1000 А;
- вид розчеплювача - комбінований;
- уставка на струм миттєвого спрацювання – 4200 А;
- число полюсів – 2, 3.

2) Запобіжники.

Вибираємо запобіжник ПП17-390:

- номінальна напруга – 380 В;
- номінальний струм – 1000 А;
- номінальний струм плавкої вставки – 1000 А.

Встановлені автоматичні вимикачі на напругу 0,4 кВ показані в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Автоматичні вимикачів (0,4 кВ)

Місце встановлення	Тип автоматичного вимикача	Струм, А	Кількість, шт.
Комплектна трансформаторна підстанція КТП-28	АВ	630	3
	АВ	250	2
Приміщення стаціонарного управління ПСУ-31	ТS	1600	4
	NS	1000	2
	АВ	160	1
ПСУ-33	АВ	600	2
	АВ	250	2
ПСУ-37	NS	1000	1
	АВ	300	1
	АВ	200	1
ПСУ-38	АВ	315	2
ПСУ-39	АВ	250	3

ВИСНОВКИ

У розділі 3 розроблено схему електропостачання дробильної фабрики та банного комплексу, вибрані силові трансформатори: ТД-16000/35 і ТСЗ-1000/10, розраховано струми короткого замикання, вибрано кабелі живлення, шини й автоматичні вимикачі.