

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Електричні станції»
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Укладачі: Є. І. Бардик, В. І. Бондаренко, Р. В. Вожаков

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент *Пушкар М. В.*, к.т.н., доцент,
доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та
електроприводу

Відповідальний
редактор *Остапчук О. В.*, д.т.н., доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 23.02.2023 р.)
за поданням Вченої ради факультету електроенергетехніки та автоматики
(протокол № 6 від 26.12.2022 р.)*

Викладено основні положення методики побудови механічних характеристик механізмів і електродвигунів власних потреб, визначення параметрів вибігу і самозапуску та допустимості режимів роботи електродвигунів секції власних потреб потужних енергоблоків електростанцій при перервах живлення. Наведено опис режимів роботи системи власних потреб електростанції при перервах живлення та класифікацію споживачів за ступенем відповідальності. Містить необхідні дані для проведення навчального розрахунку та варіанти завдань.

Навчальний посібник призначений для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти за освітньо-професійною програмою «Електричні станції» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка всіх форм навчання.

Обсяг 1,5 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

Зміст

Список скорочень.....	4
Вступ.....	5
1. Режими роботи електродвигунів і механізмів ВП електростанцій при перериваннях живлення.....	6
1.1. Загальні положення.....	6
1.2. Характеристика механізмів власних потреб електричної станції.....	8
1.3. Динамічні характеристики механізмів ВП.	12
2. Приклад розрахунку динамічних характеристик електродвигунів секцій ВП електростанції при переривах живлення.....	14
2.1. Визначення параметрів вибігу і самозапуску електродвигунів ВП енергоблока.....	14
2.2 Визначення допустимого часу перерви живлення для успішного самозапуску асинхронної машини.	19
Додаток 1. Схема власних потреб електричної станції.....	26
Додаток 2. Оперативні схеми електричної станції.....	27
Додаток 3. Параметри електричних двигунів власних потреб електричної станції.....	29
Додаток 4. Завдання на виконання розрахунково-графічної роботи.....	33
Додаток 5. Зразок титульного аркуша.....	35
Список рекомендованої літератури.....	36

Список скорочень

- АВР – автоматичний ввід резерву
АЕС – атомна електрична станція
БТ – блочний трансформатор
ВП – власні потреби
ВПП – валоповоротний пристрій
ЕЕС – електроенергетична система
ЕС – електрична станція
КЗ – коротке замикання
ПРТВП – пускорезервний трансформатор власних потреб
ПТЕ – правила технічної експлуатації
РГР – розрахунково-графічна робота
РЗ – релейний захист
ТВП – трансформатор власних потреб
ТГ – турбогенератор
ТЕС – теплова електрична станція
ТЕЦ – теплоелектроцентраль
ШВП – шини власних потреб

Вступ

Метою виконання розрахунково-графічної роботи є практичне закріплення студентами теоретичного матеріалу дисципліни “Експлуатація та режими роботи електростанцій”.

Розрахунково-графічна робота передбачає розв’язання задачі розрахунку режиму самозапуску однієї із секцій системи власних потреб електростанції. У роботі необхідно визначити для однієї із секцій власних потреб даного блока найбільший час втрати живлення та можливість успішного самозапуску асинхронних приводів механізмів власних потреб. Необхідно описати дії оперативного персоналу з ліквідації аварійних ситуацій в системі власних потреб.

Вихідною інформацією для розв’язання задачі розрахунку само запуску електродвигунів є склад приводів механізмів ВП та їх характеристики; схема власних потреб та динамічні характеристики механізмів власних потреб. Робота містить такі розділи: вибір типу двигунів і складу електродвигунів і механізмів підключених до секції власних потреб; розрахунок процесів динаміки вибігу і самозапуску електродвигунів ВП; визначення успішності самозапуску, визначення найбільшого часу втрати живлення та можливості успішного самозапуску.

Обсяг пояснювальної записки розрахунково-графічної роботи становить 10÷15 с. розмір аркушів 210×297 мм. Текст пояснювальної записки поділяють на розділи. Нумерувати сторінки починають з титульного аркуша. Зразок оформлення титульного аркуша наведено в додатку.

Дані для виконання РГР визначаються за допомогою табл.3.

1. Режими роботи електродвигунів і механізмів ВП електростанцій при перериваннях живлення

1.1. Загальні положення

Частина електричної і теплової енергії блока витрачається на підтримання технологічного процесу виробітку цієї енергії приведенням у дію приводів механізмів власних потреб, тобто допоміжних механізмів теплової схеми: насосів та вентиляторів різних видів, засувок вантажопідіймальних механізмів, конвеєрів тощо.

Надійна робота блока на електростанції залежить від надійної роботи механізмів власних потреб, які за ступенем важливості для технологічного процесу поділяються на такі типи:

1. Особливо відповідальні – це механізми, що мають працювати навіть під час повної втрати напруги електростанції в разі безперервного їх електропостачання. До цих механізмів на ТЕС належать маслонасоси підшипників блока, маслонасоси системи ущільнення водневого охолодження та ін. Електричні схеми постачання особливо відповідальних механізмів ВП на ТЕС повинні мати три джерела живлення: турбогенератор (ТГ), електромережу, акумуляторну батарею; на АЕС ці джерела доповнюються ще дизель-генераторною станцією (ДГС).

2. Відповідальні – всі насоси й вентилятори теплової схеми блока, які забезпечують технологічний процес виробітку електроенергії та деякі механізми підтримання працездатності блока у охолодженому стані, наприклад, ВПП – валоповоротний пристрій, тощо. Ці механізми дублюються, перерва в постачанні живлення для їх приводів не має перевищувати 2,5 с. Вони мають два джерела живлення на ТЕС та три на АЕС.

3. Невідповідальні – це механізми, раптова зупинка яких не впливає на процес виробітку електроенергії. До них відносять конвеєри подавання вугілля, насоси тепlopостачання споживачів, освітлення та ін. Перерва

електропостачання приводів цих механізмів може перевищувати 2,5 с, кількість джерел живлення не лімітується.

Отже, основну увагу оперативний персонал має приділяти надійності роботи особливо відповідальних та відповідальних механізмів ВП, для підвищення надійності роботи яких вживають такі заходи:

1. Дублювання механізмів ВП та джерел їх постачання. Потужні блоки мають не менше, ніж дві секції ШВП.
2. Розміщення вимикача між ТГ та БТ, який дає можливість під час вимикання ТГ продовжувати живлення шин власних потреб (ШВП) через свій трансформаторів власних потреб (ТВП), а не перекидати живлення від ПРТВП, як це здійснюється у блоці без вимикача.
3. Впровадження в експлуатаційну практику блока самозапуску, тобто відновлення нормального режиму блока після короткочасної (не більше 2,5 с.) перерви електропостачання секцій ВП без втручання оперативного персоналу, тобто автоматично, за рахунок перемикачів на резервне джерело постачання ШВП.

З приводу останнього ПТЕ дає такі рекомендації . Під час перерви електропостачання ВП має бути забезпечений самозапуск електродвигунів відповідальних механізмів за повторного подання напруги.

Час перерви постачання, який визначається витримками часу технологічних та резервних електричних захистів, має бути не більше 2,5 с. Як виняток, допускається більший час перерви живлення, якщо забезпечується самозапуск електродвигунів, узгоджений розрахунково-експериментальним шляхом. Перелік відповідальних механізмів затверджує головний інженер електростанції.

Отже, за впровадження в експлуатацію потужних блоків само запуску оперативному персоналу необхідно:

1. Визначити склад відповідальних механізмів та їх приводи, які беруть участь у самозапуску.

2. Мати в наявності всі нормативно-довідникові матеріали приводів цих механізмів.
3. На базі оперативної схеми для ВП кожного блока мати розрахунки часу перерви живлення $t_{п.ж.}$, які враховують витримки часу всіх релейних захистів (РЗ) вимикачів автоматичного введення резерву (АВР).
4. Мати всі розрахункові та експериментальні матеріали з успішного самозапуску кожного конкретного блока електростанції.
5. Кожний випадок самозапуску фіксувати в оперативному журналі.

1.2. Характеристика механізмів власних потреб електричної станції

Перелік відповідальних механізмів ВП для блоків ТЕС різних типів (300 та 800МВт), які приймають участь у самозапуску та номінальні параметри їх приводів наведені у додатку.

Абсолютна більшість приводів (до 90%) – це електродвигуни асинхронні з короткозамкнутими обмотками ротора. Значно менше механізмів ВП використовують для приводу синхронні двигуни та двигуни постійного струму.

Відповідно до вимог технологічного режиму всі приводи ВП мають витримувати часті пуски та зупинки агрегатів, потужність електродвигуна має бути достатньою для забезпечення необхідної продуктивності механізму. Під час кількох пусків двигуни не мають перегріватися, якщо вони працюють після цього на номінальних режимах. Конструктивне виконання двигуна має відповідати важким умовам експлуатації та місцю його встановлення. Під час вибору двигуна враховують можливість регулювання частоти обертання, надійність конструкції, зручність обслуговування, економічність роботи, тощо. Найповніше цим вимогам відповідають асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим ротором.

Для вибору двигуна необхідно знати характеристику залежності опору механізму ВП від частоти обертання або ковзання $M_{M*} = f(s)$ у всьому

діапазоні їх змін. В експлуатаційній практиці використовують таку емпіричну залежність:

$$M_{M*} = M_{0*} + (1 - M_{0*}(1 - S))^p, \quad (1)$$

де $M_{M*} = \frac{M_M}{M_H}$ – момент опору механізму ВП, в.о; $M_{0*} = \frac{M_0}{M_M}$ – момент опору механізму при нульовій швидкості, який визначається тертям у підшипниках та статичним моментом механізму, в.о; $S = \frac{n_c - n}{n_c}$ – ковзання, %; n_c, n – відповідно синхронна частота обертання та її вторинне значення, об/хв.; M_M – номінальний момент механізму кНс; p – показник ступеня, який залежить від виду механізму та умов його роботи, в.о.

Графік залежності моментів опору M_{Mx} від ковзання S , зображений на рис 1., а значення M_0 та P наведенні табл. 1 .

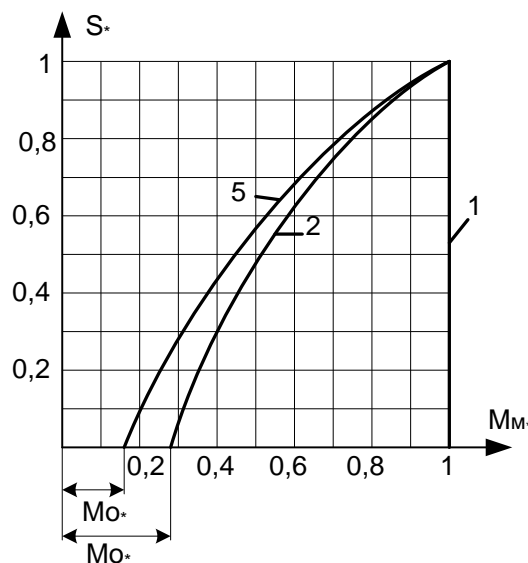


Рисунок 1. Графік залежності моментів опору механізмів M_{M*} від S для:
1 – вантажопідійомників; 2 – насосів; 3 – вентиляторів.

При дослідженні процесів динаміки механізмів ВП для кожного двигуна необхідно мати механічну характеристику, тобто залежність механічного моменту $M_{ДВП}$ від S , або як прийнято в електроприводі $S=f(M_{ДВ*})$.

Вміння побудувати механічну характеристику електродвигуна необхідного кожному інженеру, який займається технічним обслуговуванням

електрообладнання. В паспортних даних двигуна наведені такі параметри (додаток 3):

n_n – номінальна частота обертання, об/хв;

S_n – номінальне ковзання, в.о.;

$M_{max*} = \frac{M_{max}}{M_n}$ – максимальний момент двигуна, в.о.;

$M_{п*} = \frac{M_{п}}{M_n}$ – пусковий момент, в.о.;

$M_H = \frac{975 \cdot P_n}{n_n}$ – іменоване значення номінального моменту двигуна, кНс.

Таблиця 1. Значення M_{o*} та P різних механізмів ВП блока ТЕС

№ з/п	Механізм ВП	M_{o*} , в.о.	P
1	Поршньові компресори	0,25	0
2	Турбокомпресори	0,13	0
3	Дробилка вугілля	0,21	0
4	Шахтний млин	0,39...0,8	0
5	Кульовий млин	0,4...0,75	0
6	Димососи та вентилятори	0,15	2
7	Насосні агрегати: 1. горизонтальні 2. вертикальні: а) відцентрові насоси б) циркуляційні живильні та конденсатні насоси	0,1...0,15 0,25...0,3 0,14	2 5 5...6

Для побудови залежності $S=f(M_{дв*})$ потрібні чотири точки з такими координатами:

Точка	Координата абсцис	Координата ординат
1	0	0
2	1	S_n
3	M_{max*}	$S_{кр}$
4	$M_{п*}$	1

Точка 1 – на механічній характеристиці (рис.2) – це точка синхронної швидкості;

Точка 2 – номінальний режим роботи двигуна, координати з паспортних даних;

Точка 3 – режим перекидання двигуна, тобто в момент навантаження $M_{M^*} > M_{\max}^*$ двигун починає зупинятися, а коли його не вимкнути, він може вийти з ладу.

Величина M_{\max}^* береться з паспортних даних, а друга координата – критичне ковзання.

$$S_{кр} = (M_{\max}^* + \sqrt{M_{\max}^2 - 1}) S_M \quad (2)$$

Точка 4 – це точка пускового режиму, її координати визначені у паспортних даних.

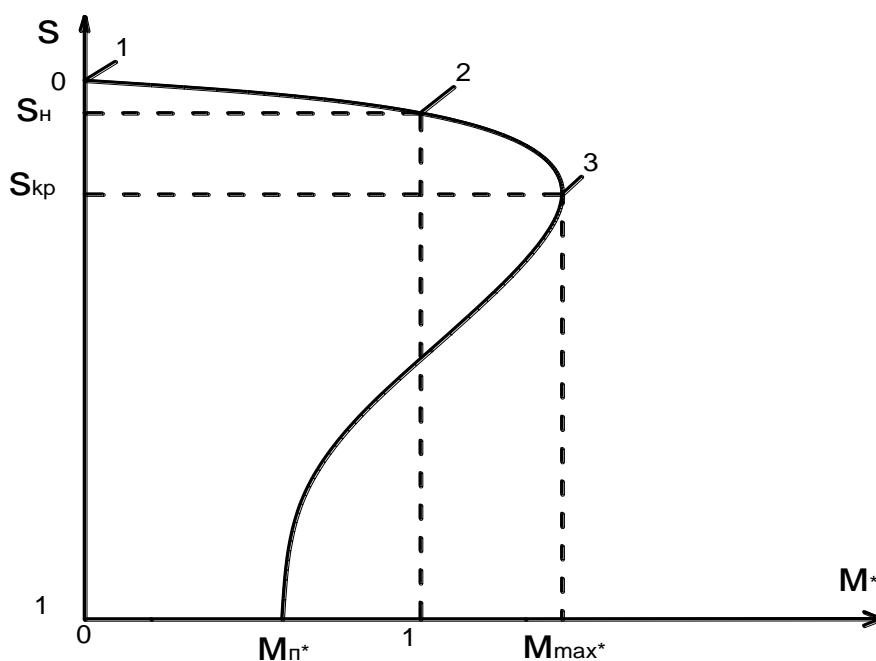


Рисунок 2. Побудова графіку залежності $S = f(M_{ДВ}^*)$ за паспортними даними двигуна з КЗ ротором

Для визначення проміжних точок механічної характеристики можна використати таку залежність, в.о.:

$$M_{дв} = \frac{2M_{\max} \frac{U_{1*}^2}{f_{1*}^2}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}, \quad (3)$$

де f – поточне значення частоти; U_{1*} – напруга на затискачах двигуна; величини M_{\max} , S , $S_{кр}$ визначені раніше.

Проміжну точку (або кілька точок) треба визначити на ділянці змінення $S = 0,4 \dots 0,6$. Значення моменту двигуна беруть у межах. $M_{об*} = /1,0 \dots 1,1 / M_{л*}$; в цьому разі і більше значення слід брати для двигунів типів ДТД та ДА30, у яких $S_{кр} \leq 0,05$.

1.3. Динамічні характеристики механізмів ВП.

Важливу роль у розрахунках самозапуску відіграє електрична схема ВП блока, яка визначає розподіл відповідальних механізмів та їх приводів між двома секціями ШВП (додаток 1). Крім того, знаючи кількість блоків на електростанції та її оперативну схему (додаток 2), визначають кількість секціонуючих вимикачів МРЖ ВП, від яких залежить час перерви живлення $t_{л*}$, починаючи зі зникнення напруги на затискачах статора турбогенератора до ввімкнення АВР від ПРТ ВП.

Важливими характеристиками кожного механізму ВП є його крива індивідуального вибігу, яку експериментально знімає спеціальна група дослідників перед впровадженням самозапуску на електростанції. Для цього потрібен прилад для вимірювання швидкості, який зв'язують з валом відповідного механізму, а вихід його – з самописцем, що видає позначки часу в секундах. Вид кривих індивідуального вибігу зображено на рисунку. Ці характеристики можна побудувати самостійно з похибкою до 5%, якщо відомі сталі часу вибігу механізмів ВП T_B , які наведено у таблиці 2.

До вихідних даних відносять також залежність коефіцієнта зменшення кратності пускового струму K_i електродвигунів в разі самозапуску від часу

перерви живлення t_{II^*} (рис. 4), яка наведена згідно з результатами впровадження самозапуску на електростанціях України і рекомендована для розрахунків.

Таблиця 2. Сталі часу вибігу деяких механізмів ВП потужних блоків (T_B)

Механізм	Час, %	Тип привода і потужність, кВт
КЕН	2	АВ до 1000
ЦЕН	3	ВВД до 1000
ЖЕН	7	АТД, АВ до 8000
Д	23	ДАЗО до 1800
ВГД	15	ДАМСО до 1000

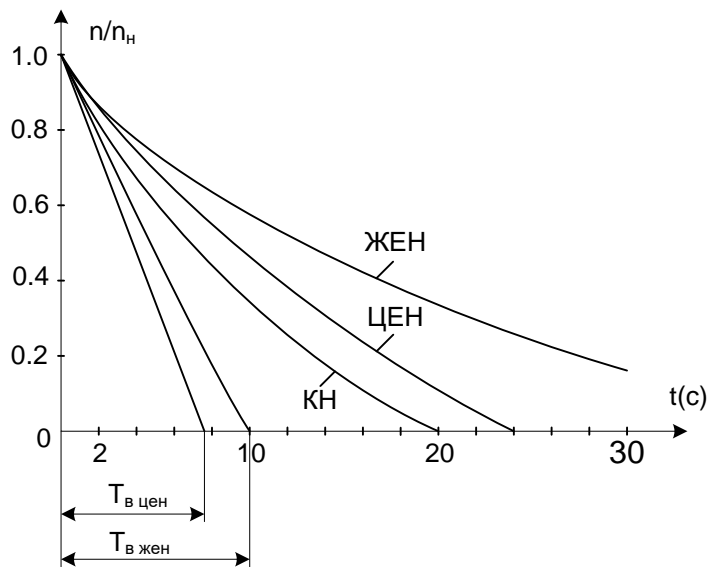


Рисунок 3. Криві індивідуального вибігу механізмів ВП блока 200 МВт: ЖЕН – живильний електронасос, ЦЕН – циркуляційний електронасос, КН – конденсатний електронасос.

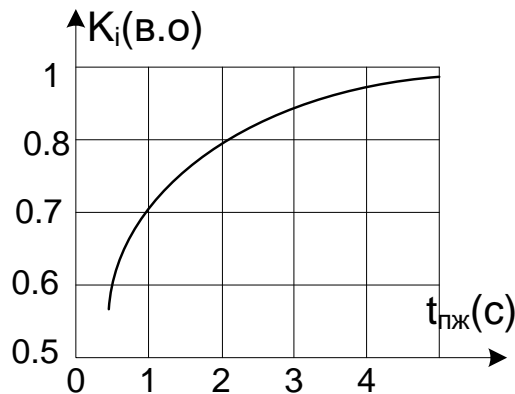


Рисунок 4. Графік залежності коефіцієнта зменшення кратності пускового струму електродвигунів в разі само запуску від часу перерви живлення

2. Приклад розрахунку динамічних характеристик електродвигунів секцій ВП електростанції при переривах живлення.

2.1. Визначення параметрів вибігу і самозапуску електродвигунів ВП енергоблока

Час перерви живлення та початкові параметри суттєво впливають на процеси вибігу і самозапуску. Для пояснення процесів в разі самозапуску електродвигунів необхідно мати графік залежності параметрів ШВП таких, як напруга на шинах U_{1*} , струм I_{1*} через вимикач від джерела живлення (рис.5) та частота обертання одного з потужних двигунів, приєднаних до шини ВП, від часу. У період I нормальної роботи блока - всі визначені параметри мають номінальне значення, тобто

$$I_{1*} = U_{1*} = n_{1*} = 1.$$

У момент часу t_0 вимикач у колі ТВП розімкне свої контакти. Це може статися з таких причин:

- помилкові дії оперативного персоналу;
- короточасні глибокі зниження напруги при вимкненні приєднання, на якому сталося КЗ, наприклад у кабелі або ТВП 6/0,4 кВ;
- різке зниження напруги на затискачах генератора, до яких приєднаний робочий ТВП, тощо.

У цей самий час починає діяти автоматична система введення резерву (АВР), яка вибирає ближчий до енергоблока з пошкодженням ПРТВП, та починає вмикати секційні вимикачі у МРЖ ВП послідовно за ланцюгом. Отже, через проміжок часу, який визначається загальною затримкою часу кожним вимикачем в МРЖ і елементами релейного захисту та автоматики, напруга знову подається на ШВП від резервного джерела; час перерви живлення $t_{ГЖ}$, який є різницею між $t_{ВНМ}$ та t_0 визначається за виразом:

$$t_{\text{пж}} = t_{\text{внм}} + \sum_{j=1}^K t_{\text{вм}} + t_{\text{внм}} + t_{\text{зап}} \leq 2,5 \text{ [с]}, \quad (4)$$

де $t_{\text{внм}}$ – час вимкнення робочого вимикача K – кількість секційних вимикачів

МРЖ; $\sum_{j=1}^K t_{\text{вм}}$ – загальний час секційних вимикачів МРЖ по ланцюгу;

$t_{\text{рз}} = (0,5 - 1) \text{ с}$ – час секціонування максимального струмового захисту ТВП;

$t_{\text{зап}}$ – час запасу який дорівнює 0,5 с;

2,5 с – допустимий час перерви живлення ШВП, визначений ПТЕ як максимальний для успішності самозапуску.

Якщо $t_{\text{н}} > 2,5 \text{ с}$, необхідно або вибрати ланцюг МРЖ ВП з меншою кількістю секційних вимикачів, або взяти інші вимикачі з меншим часом вимкнення.

За час $t_{\text{пж}}$ двигуни, що приєднані до ШВП, починають зменшувати свою обертову швидкість, струм I_{1*} падає до нуля, напруга U_{1*} теж поступово знижується зі зниженням швидкості (період II, рис. 5).

Швидкість під час $t_{\text{пж}}$ для різних механізмів знижується не за кривими індивідуального вибігу (рис. 3), а залежить від обертових мас механізмів. Потужні двигуни з великими обертовими масами приводних механізмів переходять у режим генераторів і тому зупиняються швидше, а малопотужні підживлюються струмом від потужних і зупиняються повільніше ніж при індивідуальному вибігу. Тому вибіг називають груповим з достатньою точністю залежність швидкості вибігу кожного механізму ВП від часу можна описати рівністю:

$$n = k_{\text{в}} \cdot n_{\text{н}} \cdot e^{-\frac{t_{\text{пж}}}{T_{\text{в}}}}, \quad (5)$$

де $n_{\text{н}}$ – номінальна швидкість електродвигуна; $T_{\text{в}}$ – стала часу вибігу (з табл.);

$k_{\text{в}}$ – поправочний коефіцієнт, який залежить від механізму ВП та виду вибігу.

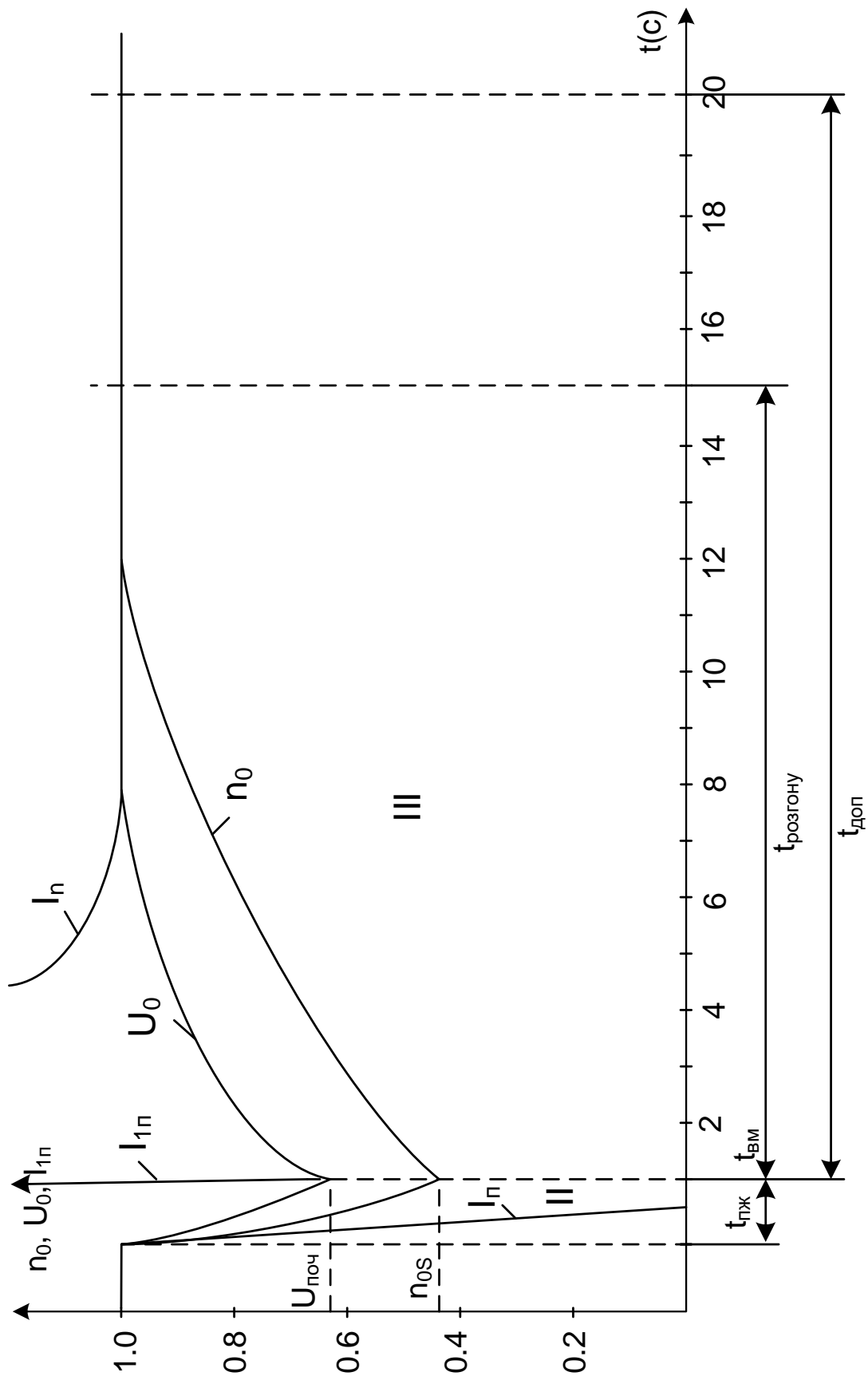


Рисунок 5. Графік зміни параметрів самозапуску: n_0 – частота обертання; U_0 – напруга на ШВП; I_n – струм живлення ШВП

При індивідуальному вибігу (КЗ на секції ВП) для насосів $k_B = 0,97$, для вентиляторів $k_B = 0,99$; при груповому вибігу (вимкнення ШВП) для насосів $k_B = 1,05$, для вентиляторів $k_B = 0,95$.

Отже для моменту вмикання живлення (час t_{BM} на рис.5) необхідно визначити подальші початкові параметри самозапуску.

1. Швидкість самозапуску

$$n_{сз} = k_B \cdot n_H \cdot e^{\frac{-t_{ПЖ}}{T_B}} . \quad (6)$$

2. Початкова напруга в разі самозапуску для випадку ненавантаженого ПРТВП

$$U_{поч} = \frac{U_{1с}}{1 + \frac{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma} \cdot k_i \cdot I_H}{U_{НДВ}}} , \quad (7)$$

де $U_{1с*} = 1,0 \dots 1,1$ – напруга ПРТВП, в.о.; $X_{\Sigma} = X_{тр} + X_{ШВП}$ – сумарний опір кола живлення (мережі, лінії реактора або трансформатора) з урахуванням

положення РПН/, Ом; $X_{тр} = \frac{U_K \% \cdot U_H}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_H}$ – індуктивний опір ПРТВП;

$X_{ШВП} = 0,04$ Ом – опір ШВП та МРЖ; K_i – коефіцієнт, який враховує зменшення кратності пускового струму електродвигуна в разі самозапуску,

порівняно з його значенням для загальмованих двигунів (рис.4); $I_{II} = \sum_{i=1}^n K_{Pi} \cdot I_{НДВ}$

– сумарний пусковий струм загальмованих двигунів (K_{Pi} – кратність пускового струму i -го двигуна, $I_{НДВ}$ – номінальний струм двигуна).

У випадку самозапуску від попередньо навантаженого резервного джерела (ПРТВП) розрахунки $U_{Поч}$ виконується за таких припущень:

- струм двигунів беремо індуктивним;

- струм попереднього навантаження ПРТВП внаслідок зниження на ньому напруги під час вмикання секції із загальмованими двигунами підвищується на 50...55%
- середній $\cos\varphi_{HB}$ попереднього навантаження ПРТВП в процесі самозапуску залишається незмінним і дорівнює 0,7...0,8.

У цьому випадку початкова напруга

$$U_{поч.} = \frac{K \cdot I_{HB}}{\alpha \cdot K_i \cdot I_{II}} \quad (8)$$

де $K=1,5...1,55$ – коефіцієнт підвищення струму; I_{HB} – струм попереднього навантаження ПРТВП, А; α – відношення підвищеного струму попереднього навантаження до струму секції, яка вимикається.

Коефіцієнт α визначається з рівняння

$$\alpha^2 - \frac{2A}{c} (U_{C^*} - A \sin \varphi_{HB} \alpha) - \frac{B}{c} = 0, \quad (9)$$

де

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma} \cdot K \cdot I_{HB}}{U_{HДВ}}; \quad B = \left(\frac{K \cdot I_{HB}}{K_i \cdot I_{II}} \right)^2 - A^2; \quad C = U_{CМ}^2 - 2A \sin \varphi_{HB} U_{C^*} + A^2.$$

Рівень $U_{поч.}$, який визначається з виразів (7) та (8), треба порівняти з допустимим значенням напруги, що залишається на ШВП, тобто

$$U_{поч.} \geq U_{зал. доп.} \quad (10)$$

Критерій $u_{зал. доп.}$ залежить від потужності блока. Так, для блоків з потужностями $P \leq 200$ МВт:

$$U_{зал. доп.} = 0,55, \quad (11)$$

а для блоків з потужностями 300 МВт і вище

$$U_{зал. доп.} = 0,65 \quad (12)$$

У разі невиконання умови (10), самозапуск буде неуспішним, тому треба замінити вихідні дані, тобто зменшити $t_{пж}$ за рахунок зменшення кількості секційних вимикачів МРЖ ВП.

2.2 Визначення допустимого часу перерви живлення для успішного самозапуску асинхронної машини.

Під час виконання критеріїв (4) та (10) слід переходити до наступного етапу самозапуску – розгону кожного механізму ВП до номінальної швидкості (рис. 5, період III).

Час розгону визначається методом кроків для кожного відповідального механізму, який бере участь у самозапуску. За спрощених розрахунків вибираються три найпотужніших механізми, а успіх самозапуску визначають за часом розгону повільнішого з усіх. Розрахунки слід виконувати у такій послідовності (рис. 6).

1. Будується механічна характеристика двигуна згідно з п. 1.2. та рис. 2 за паспортними даними. Це залежність $S = f(M_{ДВ*})$. На неї позначають $S_{СЗ} = 1 - n_{СЗ*}$ лінією, яка перетинає $S = f(M_{ДВ*})$.

2. Для початкового моменту самозапуску визначають $M'_{ДВ*}$, враховуючи зниження напруги на ШВП до рівня $U_{пoch*}$:

$$M'_{СЗ} = M_{ДВ} U_{пoch*}^2, \quad (13)$$

де $U_{пoch*}$ визначається за виразами (7) або (8).

3. Відрізок на осі ординат (рис. 6,а) від S_n до $S_{кр}$ поділяємо на $i_{кр}$ кроків. Чим більше кроків, тим точніше буде побудова, але і більше розрахунків. Оптимальна кількість – 5...10 кроків. Розраховуємо ΔS_i :

$$\Delta S_i = \frac{S_{СЗ} - S_n}{i_{кр}} \quad (14)$$

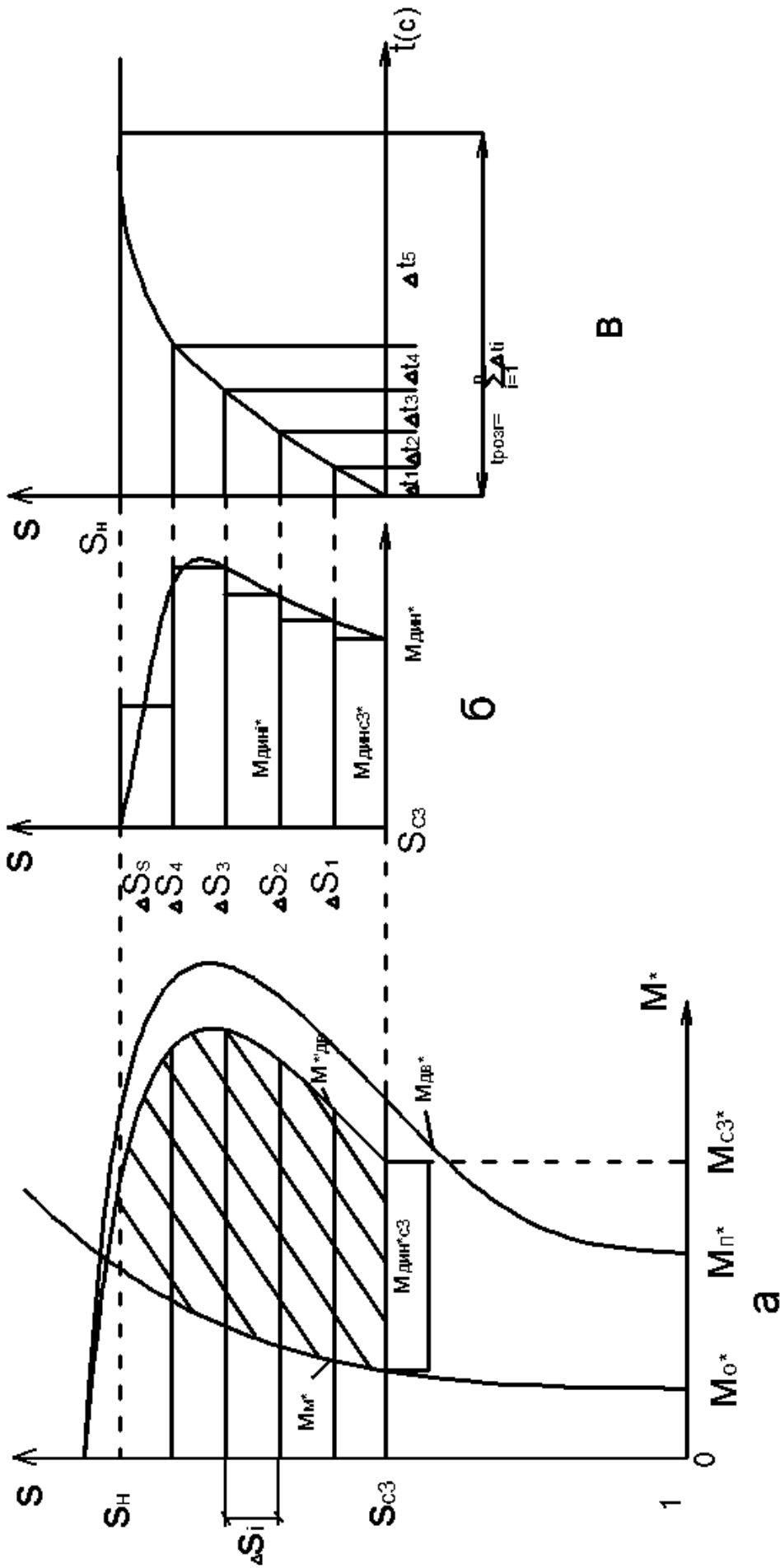


Рисунок 6. Визначення часу розгону асинхронного двигуна:

- а – механічні характеристики двигуна $M_{дв}^*$ та опору механізму $M_{м}^*$;
- б – динамічний момент $M_{дв}^{с3} = M_{дв} - M_{м}$; в – графік розгону за кроками $\Delta S_i - S = f(t)$

На кожному інтервалі розрахунків змінюється (в даному випадку підвищується) напруга на виході ПРТВП на величину ΔU :

$$\Delta U = \frac{1 - U_{\text{поч}^*}}{i_{\text{кр}}} \quad (15)$$

4. Будуємо залежність $S = f(M'_{\text{ДВ}^*})$ враховуючи рівень напруги на кожному кроці:

$$M_{\text{ДВ}^*} = M_{\text{ДВ}} (U_{\text{поч}^*} + i \Delta U^*)^2 \quad (16)$$

де i – номер кроку розрахунків.

5. Будуємо залежність опору механізму ВП M_M від S згідно з виразом (1) та рис. (1)

6. На кожному кроці визначаємо динамічний (надлишковий) момент, $M'_{\text{дин}^*}$ який розганяє механізм після ввімкнення напруги на ШВП :

$$M'_{\text{дин}} = M'_{\text{дв}} - M_M = I \left(\frac{d\omega}{dt} \right), \quad (17)$$

де $M'_{\text{дв}}$ – момент обертання електродвигуна, кНс; M_M – момент опору механізму; I – момент інерції обертових мас механізму, кг·м²; ω – кутова частота обертання ротора, с⁻¹; $\left(\frac{d\omega}{dt} \right)$ – кутове прискорення, с⁻².

Кутову частоту обертання можливо визначити через ковзання, с⁻¹

$$\omega_* = \frac{\omega}{\omega_H} = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi n_H} = 1 - S_H, \quad (18)$$

де ω_H та n_H – номінальні значення відповідно кутової швидкості та частоти обертання.

Отже, залежність (17), враховуючи (18), можна визначити у відносних одиницях:

$$M'_{дин} = -T_p \frac{ds}{dt}, \quad (19)$$

де T_p – стала часу розгону, яка дорівнює часу зміни ковзання на одиницю під дією незмінного надлишкового моменту $M_{дин*}$.

З урахуванням допущень можна брати:

$$T_p = I \frac{\omega_H^2}{\rho_H} e = T_e + 5, [c]. \quad (20)$$

7. За даними рис. 6.,а будуюмо графік:

$$M'_{дин} = M'_{дв*} - M_{м*} = f(s), \quad (21)$$

Цей графік зображено на рис.6,б. На кожному кроці i визначаємо постійний надлишковий момент $M'_{дин*}$. Розрахунки починаються з моменту самозапуску $M'_{динсз*}$.

8. Визначення часу розгону базується на формулі:

$$t_{розг} = -T_p \int_{S_{сз}}^{S_H} \frac{dS}{M'_{дин*}}, \quad (22)$$

Якщо $M'_{дин*} = const$. Коли ж $M'_{дин*} = var$, вираз інтеграла замінюється сумою, тобто

$$t_{розг} = -T_p \left(\frac{\Delta S^e_1}{M'_{динсз*}} + \frac{\Delta S^e_2}{M'_{дин2*}} + \dots + \frac{\Delta S_i}{M'_{динi*}} + \frac{\Delta S_n}{M'_{динn*}} \right), \quad (23)$$

що приблизно дорівнює (22). Знак «-» означає те, що розгін іде від позитивної величини $S_{сз}$ до 0.

Цей розрахунок робиться за кроками, перший крок – це початкові дані самозапуску, наступний $S_{сз} + \Delta S$ та $M'_{дин2*}$, тощо. На кожному кроці визначається час розгону Δt_i

9. Час розгону за кроками сумується:

$$t_{розг} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i, \quad (24)$$

як це зображено на рис 6,в.

10. Результат розрахунків $t_{розг}$ треба порівняти з допустим часом $t_{доп}$, яким визначається успішність само запуску:

$$t_{розг} < t_{доп}, \quad (25)$$

де $t_{доп}$ визначає час, за який електродвигуни ВП не перегріваються і не порушується технологічний процес роботи енергоблоку.

Для ТЕЦ з поперечними зв'язками, тобто там, де є загальні колектори пари та живильної води (з блоками потужністю $P_p \leq 100 \text{ MW}$) допустимий час успішного само запуску визначається допустимим нагріванням двигунів ВП, і становить

$$t_{доп} = (30...35) \text{ с}. \quad (26)$$

Цей, порівняно невеликий, час розгону пояснюється тим, що можливе припинення живлення котлів водою на станціях типу ТЕЦ запобігається вмиканням резервних насосів від інших секцій ШВП 6 кВ, або дією регуляторів паралельно працюючих насосів. Топочні процеси в котлі за цей час не встигають значно розлагодитися і практично не порушується подача пари до турбіни. На ТГ потужністю до 100 МВт включно мастильні маслонасоси підшипників з'єднані з валом турбіни, що запобігає порушенню маслопостачання. Механізми ВП цих станцій мають меншу потужність ніж на блокових станціях, їх електродвигуни, відповідно, мають кращі пускові характеристики, що дозволяє забезпечити самозапуск за меншого рівня початкової напруги $U_{Поч*}$.

На КЕС із блоками 150...200 МВт допустимий час для успішного само запуску складає

$$t_{\text{доп}} = 15 \text{ с}, \quad (27)$$

а на КЕС з блоками 300 МВт та вище

$$t_{\text{доп}} = 12 \text{ с}, \quad (28)$$

що визначається умовами підтримання технологічного процесу блоків. На цих станціях у самозапуску беруть участь електродвигуни з напругою 6 кВ усіх відповідальних механізмів. Електродвигуни невідповідальних механізмів (паливоподача, гідрозоловідведення, кульковий млин, тощо), які участі у самозапуску не беруть, вимикаються дією захисту мінімальної напруги з витримкою часу 0,5 с.

На блоках потужністю 150 МВт і вище значна роль відводиться механізмам з приводами на 0,4 кВ – це маслonaсоси, насоси систем регулювання, охолодження, тощо (деякі з них також беруть участь у самозапуску).

Згідно з попередніми міркуваннями критерій успішності (26)...(28) самозапуску має виконуватися жорстко, тобто

$$t_{\text{розг}} \leq t_{\text{доп}}. \quad (29)$$

У разі невиконання цього критерію, блок треба зупиняти і знову готувати до пуску.

Розрахований час розгону порівнюється з допустимим часом пуску електродвигуна, який обертає механізм ВП найбільшої потужності:

$$t_{\text{п.доп.}} = \frac{150 \cdot \Delta \vartheta}{j_{\text{н}}^2 (K_{\text{п}}^2 - 1)}, \quad (30)$$

де ΔU – додаткове перевищення температури обмотки двигуна, $^{\circ}\text{C}$; $j_{\text{М}}$ – номінальна густина струму, яка для двигунів поточного виробництва береться 4...6 А/мм²; $K_{\text{п}}$ – кратність пускового струму електродвигуна.

Для відповідальних приводів механізмів, самозапуск або повторний пуск яких мають бути забезпечені одразу ж після зупинки, тобто в гарячому стані, $\Delta\theta = 135^\circ\text{C}$, враховуючи, що самозапуск відбувається порівняно рідко.

Для електродвигунів, пуск яких у гарячому стані одразу ж після зупинки відповідно до технологічного процесу не вимагається, час пуску можна визначити з умови допустимого нагрівання двигуна під час пуску з холодного стану. У цьому випадку $\Delta U = 200^\circ\text{C}$, за допустимий час

$$t_{п.доп.} = \frac{150 \cdot \Delta U}{j_M^2 \cdot K_{II}^2}, \quad (31)$$

У всіх випадках необхідно дотримуватись нерівності (29): $t_{розг} \leq t_{п.доп.}$

У разі недотримання критерія (29) необхідно вибрати інший двигун, з кращими пусковими характеристиками.

Додаток 1. Схема власних потреб електричної станції

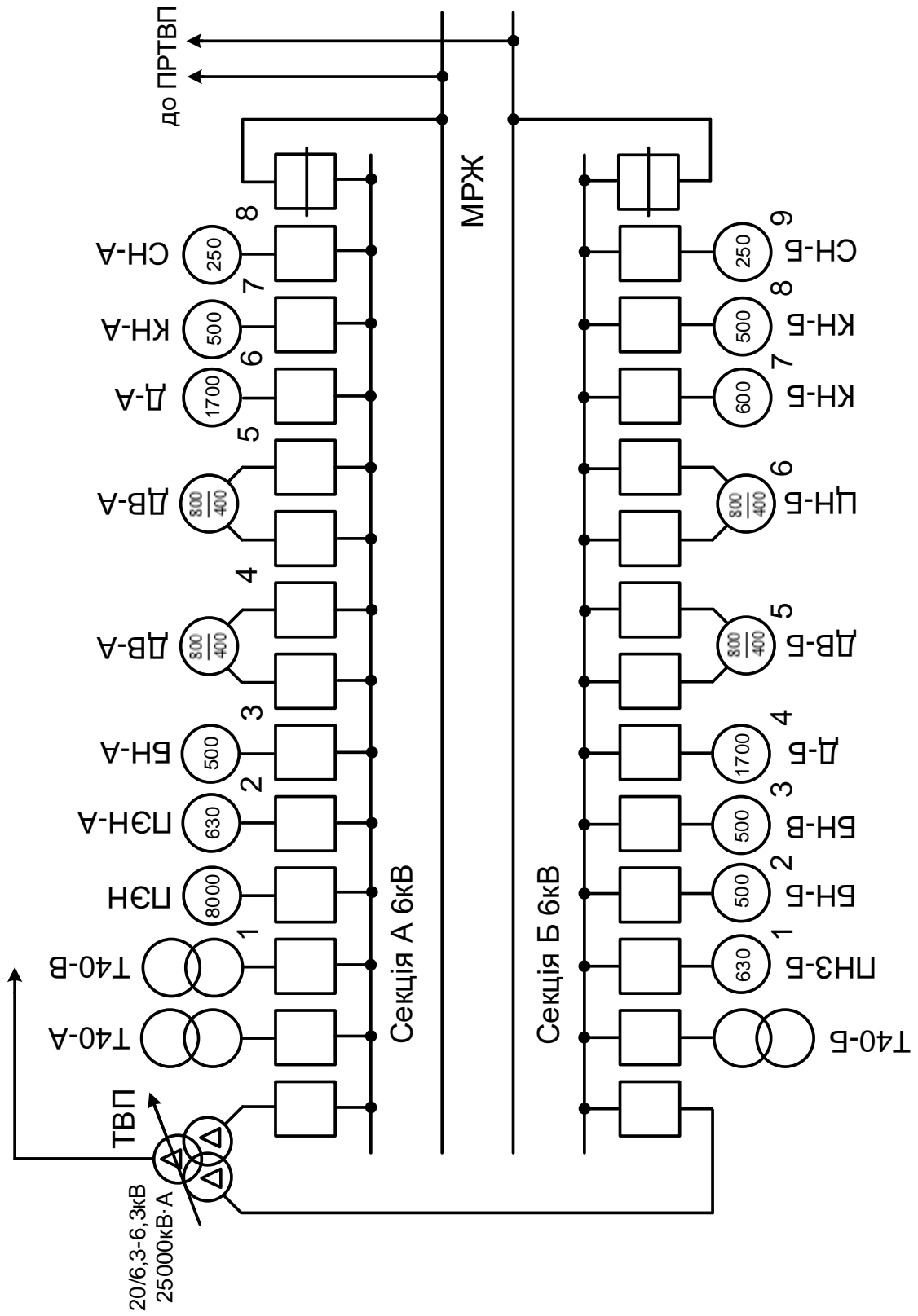


Рисунок 7. Схема ВП блока 300 МВт, що працює на мазуті

Додаток 2. Оперативні схеми електричної станції

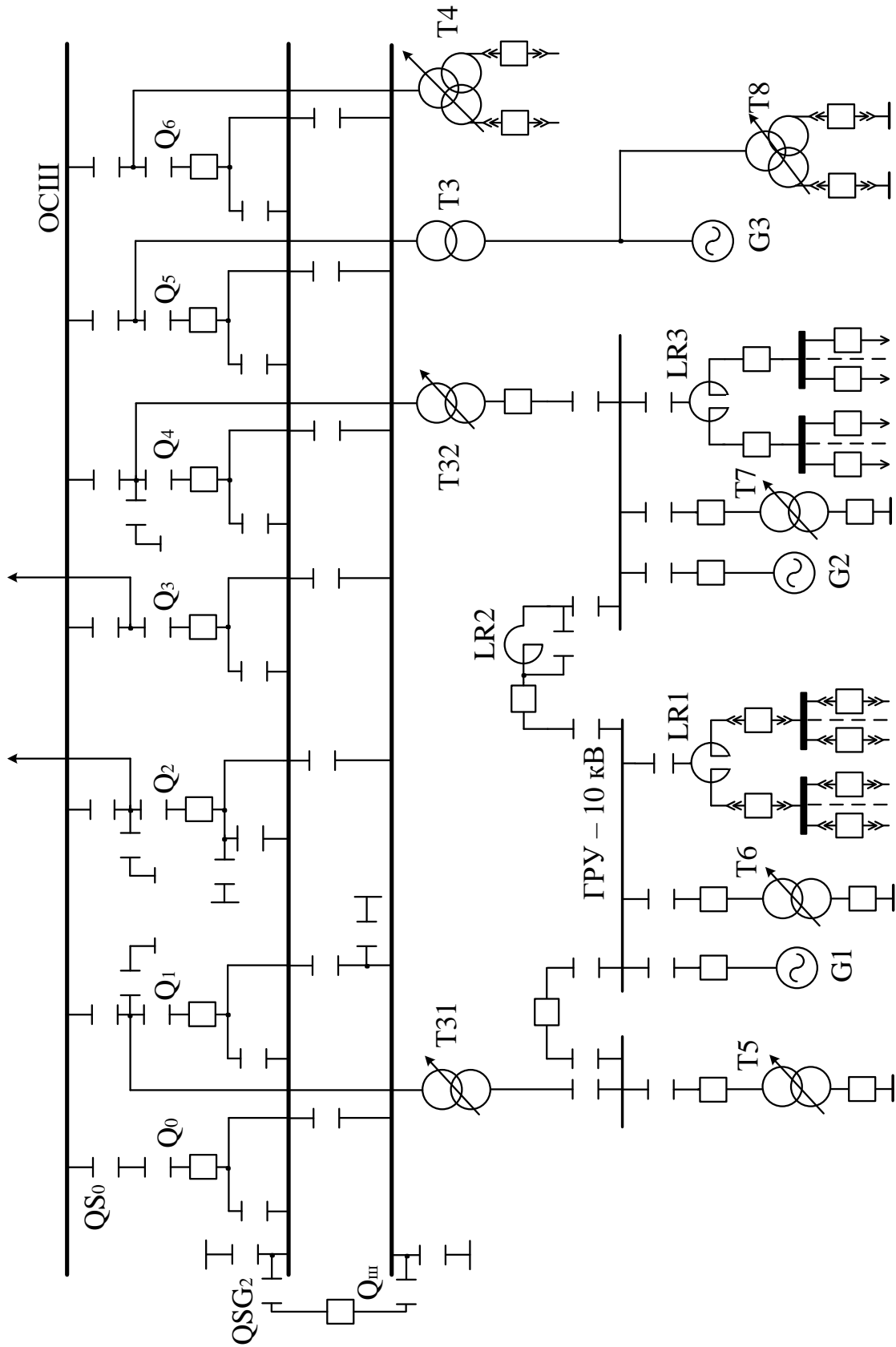


Рисунок 8. Фрагмент оперативної схеми ТЕЦ з неблочною частиною

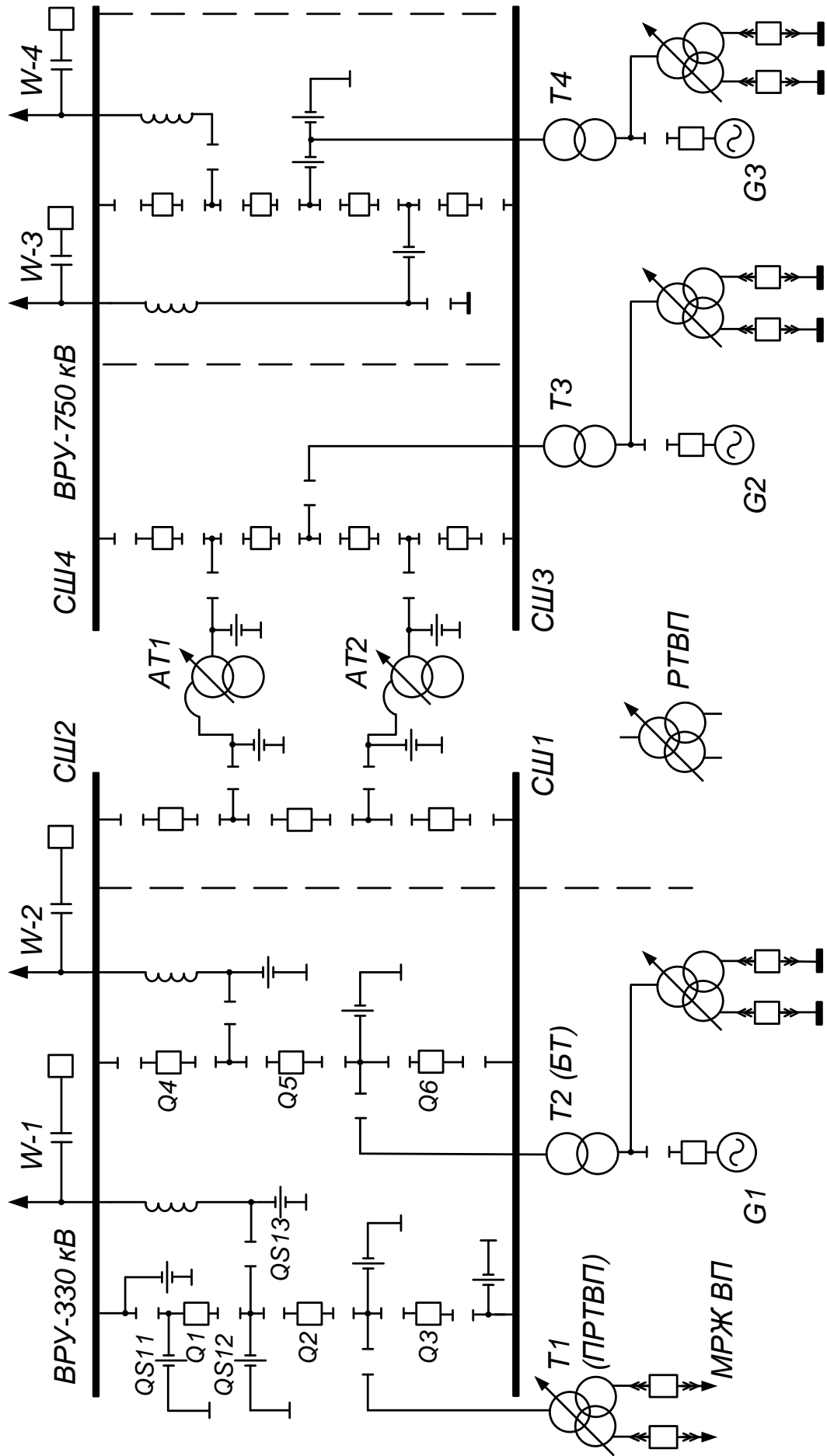


Рисунок 9. Фрагмент оперативної схеми ТЕЦ з блочною частиною

Додаток 3. Параметри електричних двигунів власних потреб електричної станції

Таблиця 3. Типи і параметри електродвигунів власних потреб 300 МВт КЕС на вугільному паливі.

№ п/п	Агрегат	Тип двигуна	Потужність Р, кВт	Напруга стагора, кВ	Частота обертання, η _н , об/хв	Ковзання S _н , %	Пускові			ККД η, %	cos φ _н
							$\frac{I_{п}}{I_{н}}$	$\frac{M_{п}}{M_{н}}$	$\frac{M_{max}}{M_{н}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Машинний зал											
1	Живильний електронасос	АТД-8000	8000	6	2950	1,66	5,4	0,8	2,4	96,6	0,91
2	Предвимкнутий електронасос	2 АЗС ВІ-500/600045	500	6	2980	0,7	5,7	0,85	2,4	94,8	0,89
3	Конденсатний насос І сходу	ВАН/АВ/-114-4	320	6	1480	1,4	6,5	1,5	2,4	93	0,902
4	Конденсатний насос ІІ сходу	АОЗ-400М 6У2	200	6	985	1,5	6,5	1,2	2,2	93,5	0,86
5	Зливний насос	АОЗ-400М-4У2	250	6	1485	1,5	7	1,5	2,5	93,45	0,9
6	Підйомний насос ежекторів	ДА302-16-54-8У1	630	6	740	1,3	4,8	0,75	2	93,5	0,85
7	Циркуляційний насос	ВАМ/АВ/-16-49-10	1600	6	593	1,1	4,5	0,7	2,1	94,8	0,87
8	Вентилятор гарячого дугтя	ДА302-16-44-8/10У1	250 (125)	6	744 (597)	0,8 (0,5)	6,1 (7,2)	0,8 (1,8)	2,8 (5)	90 (86,4)	0,77 (0,53)
9	Пусковий маслонасос	4А132 4У3	7,5	220/380В	1455	2,9	7,5	2,2	3	87,5	0,86
10	Валоповоротний пристрій турбіни	4АН200 4У3	55	220/380В	1475	1,7	6,5	1,3	2,5	92	0,89
11	Насос частково знесоленої води	АОЗ-315-6У3	110	220/380В	985	1,7	7	1,4	2,3	93	0,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	Насос системи регулювання турбіни	A03-315M-2У3	200	380/660В	2970	1,2	7	2,9	2	92,5	0,9
13	Насос системи регулювання турбіни	4A200 2У3	45	220/380В	2945	1,8	7,5	1,4	2,5	91	0,9
14	Насос мастильної системи	A03-315-2У3	160	380/680В	2970	1,2	7	0,9	2	92	0,9
15	Насос охолоджуючої води теплообмінників	A03-315-6У3	110	220/380В	985	1,7	7	1,4	2,3	93	0,9
16	Насос охолодження двигунів ЖЕН	4A180 2У3	22	220/380В	2940	1,9	7,5	1,4	2,5	88,5	0,91
17	Насос охолодження статора генератора	4A180 2У3	22	220/380В	2940	1,9	7,5	1,4	2,5	88,5	0,91
18	Насос змивний низьконапірний	A03-315-6У3	110	220/380В	985	1,7	7	1,4	2,3	93	0,9
Котельня											
19	Димосос осьовий	ВAM215/49-16У3	2000	6	368	1,8	4	0,5	1,7	94,6	0,82
20	Вентилятор дуттевий	ДА30-18-59-6/8У1	1600 (685)	6	994 (746)	0,6 (0,8)	6,3 (7)	0,7 (0,95)	2,3 (2,6)	92 (90,2)	0,85 (0,78)
21	Млин	ДА302-17-54-8У1	800	6	744	0,8	6,8	1,05	2,6	93,5	0,87
22	Вентилятор рециркуляції	A03-315M-10У3	75	220/380В	590	1,9	6	1,3	2	92	0,8
23	Вентилятор ущільнення млина	4АН200М2У3	55	220/380В	2940	2	7	1,3	2,5	91	0,9
24	Вентилятор пневмозоловведення	4A132M2У3	11	220/380В	2900	2,3	7,5	1,7	2,8	88	0,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	Постачальник сирого вугілля комбінований	4А132М4У3	11	220В	1460	3	8	2	3	88	0,9
26	Дробарка шлаковиведення	4А180М8У3	15	220/380В	730	3	6	1	2	87	0,8
Пожежогасіння											
27	Насос гасіння пожежі	А03-315М-4У3	200	380/660В	1500	1	7	1	2	94	0,9
Мазутонасосна											
28	Мазутовий насос	4А250 2У3	75	380/660В	2960	1	8	1	3	91	0,9
29	Насос замазученої води	4А132М6У3	7,5	220/380В	970	3	6	2	3	86	0,8
30	Насос вузла промикання	4А180М6У3	19	220/380В	975	2	6	1	2	88	0,9
31	Насос відкачування дренажів вогнестійкої	В132М6	7,5	220/380В	960	4	7	2	3	87	0,8
32	Насос відкачування збору витоків мазуту	ВАО-42-2	7,5	220/380В	2900	3	7	2	3	87	0,9
Паливне господарство											
33	Вагонперекидач	4АН280 І0У3	45	220/380В	585	3	5	1	2	90	0,8
34	Роздільнюча	4АН200 6У3	37	220/380В	980	2	7	1	2	91	0,9
35	Возик штовхача	4АН280 І0У3	45	220/380В	585	3	5	1	2	90	0,8
36	Маневровий пристрій	4АН200 8У3	30	380В	730	2	7	1	2	90	0,8
37	Конвєсєр	4АН200 4У3	55	220/380В	1475	2	7	1	3	92	0,9
38	Конвєсєр	4А250 4У3	75	220/380В	1480	1	7	1	2	93	0,9
39	Конвєсєр	4АН250М4У3	110	220/380В	1475	2	7	1	2	94	0,9
40	Конвєсєр	4А280М4У3	132	380/660В	1480	2	6	1	2	93	0,9
Хіміводоочищення											
41	Насос освітленої води	ВАО-92-2	100	220/380В	2960	1	7	2	2	91	0,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
42	Насос циркуляції вапнистого молока	BAO-81-4	40	220/380В	1470	2	6,5	1,8	2,2	90,5	0,88
43	Насос промивання фільтрів(механічний)	4A250M6У3	35	220/380В	985	1,3	6,5	1,2	2,1	91,5	0,89
44	Насос шламової води	4АН160 4У3	18,5	220/380В	1450	3,2	6,5	1,3	2,1	88,5	0,87
45	Насос розвантаження	BAO-52-2	13	220/380В	2920	2,7	6,3	1,5	2,4	88	0,88
46	Насос Н-кагіонових фільтрів	В180 2	22	220/380В	2900	2,9	6,9	2	2,7	90	0,89
47	Насос реагентів кислотного	BAO-82-2	55	220/380В	2950	1,7	7	1,5	2,2	90	0,9
48	Насос розвантаження сірчаної кислоти	BAO-52-2	13	220/380В	2920	2,7	6,3	1,5	2,4	88	0,88
Насосна перекачування води з водосховища											
49	Насос	ДВДА-173\49-12\16К	800 (400)	6	494 (370)	1,2 (1,3)	5 (4,6)	0,9 (1,2)	2,2 (2,5)	92,9 (91,8)	0,83 (0,72)
Берегова насосна											
50	Циркуляційний насос	ВАН\АВ\-16-31-	800	6	495	1	5,2	0,8	2,5	93,5	0,803
51	Дренажний насос	В112М2	7,5	220/380В	2900	4	7	2,2	2,8	88	0,88
52	Багерні насоси	ДА302-16-54-	500	6	742	1,06	5,7	0,95	2,6	93	0,83
53	Система пневмозоловиведення	А03-315-2У3	160	380/660В	2970	1,9	7	1	1,9	92	0,9
54	Шнек шлаковивення	4А132 4У3		220/380В	1455	2,9	7,5	2,2	3	87,5	0,86
Загальностанційна компресорна											
55	Загальностанційний компресор	А03-315М-2У3	200	380/660В	2970	1,2	7	0,9	2	92,5	0,9

Додаток 4. Завдання на виконання розрахунково-графічної роботи

Використовуючи оперативну схему ТЕС (АЕС) (додаток 2, рис. 8) та схему власних потреб блока 300 МВт (паливо мазут) для однієї з секцій власних потреб даного блока визначити найбільший час втрати живлення $t_{вж}$ та можливість успішного само запуску асинхронних приводів механізмів ВП. Описати дії оперативного персоналу при ліквідації аварійної ситуації при втраті живлення шинами власних потреб. Графічна частина роботи складається з двох аркушів формату А4 на яких викреслюють оперативну схему станції схему ВП та результати розрахунку змінення швидкості електродвигунів та напруги секції до якої приєднані задані електродвигуни.

Вихідні дані

Параметри електродвигунів, які приймають участь у вибігу і самозапуску електродвигунів секції ВП блока наведені в додатку 3 (таблиця 3). Трансформатор ВП для цього розрахунку вибирається в залежності від потужності блока і номінальної напруги генератора і шин ВП. Він характеризується номінальною потужністю, номінальними напругами $U_{Внн}, U_{ннн}$ і $U_K \%$.

Вибір варіанту розрахунку

Варіант розрахунку задається сполученням букв і цифр. Буква (наприклад А або Б) визначає секцію ВП (рис. 7), а комбінація з п'яти цифр означає послідовні номери двигунів в таблиці 3 (додаток 3). Наприклад, варіант А_1_3_5_19_52_ означає, що необхідно для розрахунку вибігу і само запуску взяти для секції А (рис. 7) такі електродвигуни з таблиці 3: 1 – живильний електронасос; 3 – конденсатний насос; 5 – зливний насос; 19 – димосос осьовий; 52 – багерний насос.

Послідовність виконання роботи:

1. Для оперативної схеми ТЕС і схеми ВП блока у відповідності з варіантом завдання визначити склад відповідальних механізмів, які беруть участь у само запуску.
2. Побудувати для кожного механізму індивідуальну характеристику вибігу.
3. Визначити час переривання живлення $t_{ПЖ}$ та значення швидкості механізмів на момент вимикання живлення $t_{ВМ}$.
4. Визначити початкову напругу $U_{поч}$ в момент вимикання живлення та порівняти її з допустимим значенням залишкової напруги $U_{зал.доп.}$
5. Побудувати механічну характеристику двигуна $S = f(M_{двх})$ за паспортними даними.
6. Розрахувати змінення ковзання ΔS_i і напруги на затискачах ПРТВП ΔU на кожному кроці.
7. Побудувати графік змінення динамічного (надлишкового) $M_{дин*}$ моменту в залежності від ковзання S .
8. Розрахувати час, розгону $t_{розг}$ кожного механізму і співвіднести його з допустимим значенням $t_{доп}$, що визначає успішність само запуску.
9. Порівняти розрахунковий час розгону $t_{розг}$ з допустимим часом пуску електродвигуна $t_{п.доп}$ найбільшої потужності.
10. Описати дії оперативного персоналу при ліквідації аварійної ситуації з втратою живлення шинами власних потреб.

Список рекомендованої літератури

1. Василів К. М. Експлуатація електричних станцій. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. 236 с
2. Буряк В.М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання: Навч. посібник. – Харків: ХДАМГ, 2001
3. Технічна експлуатація електричних станцій та мереж. Правила.-Київ, 2003.–598с.
4. Правила улаштування електроустановок. – Київ, 2017

