

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Нечипоренко Віктор Петрович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування системи електропостачання підприємства по переробці

(тема роботи)

граніту

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нечипоренко В. П.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Нечипоренко В. П. Обґрунтування системи електропостачання підприємства по переробці граніту. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Робота присвячена обґрунтуванню та проектуванню системи електропостачання підприємства по переробці граніту.

У роботі проведений аналіз стану існуючої мережі живлення району та визначені основні параметри та характеристики системи електропостачання підприємства.

Ключові слова: енергетичний баланс, переробка граніту, електрична мережа, повітряна лінія електропостачання, трансформаторна підстанція.

ABSTRACT

Neshiporenko V. P. Ground of the system of power supply of підприємства on processing of granite. Qualifying work on the receipt of educational master's degree after speciality 141 is Electroenergy, electrical engineering and electromechanics is the Polesye national university, Zhytomyr, 2020. Work is sanctified to the ground and planning of the system of електропостачання enterprise on processing of granite. In-process the conducted analysis of the state of existent network of feed of district and certain basic parameters and descriptions of the system of power supply of enterprise.

Keywords: power balance, processing of granite, electric network, air-track of power supply, transformer substation.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ ПО ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТУ	6
1.1. Перелік завдань виробничого комплексу переробки граніту, склад обладнання та його характеристики .	6
1.2. Розрахунок балансу споживання електроенергії виробничого комплексу переробки граніту	12
Висновки по розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТА ВІБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ПО ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТУ	17
2.1. Побудова планового графіку добового навантаження електроспоживачів виробничого комплексу переробки граніту.	17
2.2. Обґрунтування та вибір варіанту електричної мережі та матеріалу проводів	23
Висновки по розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА ПО ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТУ	28
3.1. Вибір числа и потужності силових трансформаторів	30
3.2. Перевірка трансформаторів на перевантаження	32
Висновки по розділу 3	33
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	36

ВСТУП

Проектування та організація виробничого процесу потребує попереднього аналізу та детальних розрахунків як самого процесу виробництва так і його забезпечення електроенергією. При цьому необхідно детально аналізувати склад виробничого обладнання, його характеристики, режими роботи, технічні параметри верстатів та їх цикли роботи.

В даній роботі поставлено завдання по вибору технологічного обладнання для підприємства по переробці граніту, аналізу його технічних параметрів і на базі цього скласти робочі графіки виробництва, графіки навантаження та розрахувати систему електропостачання, яка б забезпечувала виробничий процес.

Для розрахунків системи електропостачання даного виробництва необхідно вибрати із довідникових даних значення типових показників навантаження, схему електропостачання та скласти баланс активної та реактивної потужності.

Розробка методики визначення електричних навантажень підприємства для переробки граніту з складанням добового графіку навантаження для різних пор року визначає **мету дослідження** в даній роботі.

Об'єкт дослідження: система електропостачання підприємства по переробці граніту.

Предмет дослідження: способи забезпечення електроенергією підприємства по переробці граніту..

Методи дослідження: визначення основних параметрів та характеристик системи електропостачання, побудова графіків навантаження, а також аналіз та теоретичні обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

1. Нечипоренко В.П. СУЧАСНІ СПОСОБИ КАМНЕОБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.

Студентські читання – 2020: Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020». 26 жовтня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет, 2020.- 400 с.

2. Гончаренко Ю.П., Нечипоренко В.П. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ НОВОСТВОРЮВАНОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.

IV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАТЕРІАЛИ. ЧАСТИНА 2. С. 70-74. «Біоенергетичні системи». 29 травня 2020 Житомир, Україна.

3. Гончаренко Ю.П., Нечипоренко В.П. ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПІДПРИЄМСТВА ПО ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТУ

IV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МАТЕРІАЛИ. ЧАСТИНА 2. С. 70-74. «Біоенергетичні системи». 29 травня 2020 Житомир, Україна.

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ ПО ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТУ

Будівництва нового комплексу по переробці граніту намічено поблизу населеного пункту Буки Житомирського району.

Для визначення складу комплексу по переробці граніту необхідно розглянути перелік завдань, які повинен вирішувати комплекс.

1.1. Перелік завдань виробничого комплексу переробки граніту, склад обладнання та його характеристики .

Основними завданнями які повинен вирішувати даний комплекс являється:

- різка каменю із великих гранітних блоків;
- розпилювання блоків на невеликі заготівки;
- подовжнє розпилювання гранітних плит;
- шліфування, фрезерування та окантовка заготівок;
- виготовлення тонкостінної гранітної плитки.

Виходячи із поставлених задач комплекс по переробці граніту повинен включати наступне основне обладнання:

- верстати для різання каменю – 1шт;
- верстат для повздовжнього розпилювання каменю – 2шт;
- верстат для шліфування каменю - 2шт;
- верстат багатопильний по каменю- 1шт;
- верстат для поверхневої обробки по каменю - 1шт;
- верстат фуговальний по каменю – 2шт.

Для завантаження гранітних блоків на станини верстатів передбачається використовувати кран-балку з можливістю підйому вантажів до 20 тон.

Також у виробництві використовуються лінії пакування, оздоблювання і форматної обробки заготівок.

Найменування основного технічного обладнання та потужність його електроприводів показана в табл. 1.1.- та на рис.

1.Верстат для різання каменю «Piligrimmi» (рис.1.1)

Технічні параметри даного верстата показані в табл. 1.1[7].

Таблиця 1.1.

Характеристики	Од. виміру	Параметри
Максимальний діаметр пилки	мм	2500
Потужність головного двигуна	кВт	22
Максимальний розмір гранітного блоку	мм	3600x2100x1250
Габаритні розміри (ДxШxВ)	мм	9500x5000x1500
Кількість використовуваної води	м ³ /Г	34
Вага	т	16



Рисунок 1.1. Верстат для різання каменю Piligrimmi»

2. Верстат багатопильний QSQ-2200 (рис.1.2)

Технічні параметри даного верстата показані в табл. 1.2[7].

Таблиця 1.2.

Характеристики	Од. виміру	Параметри
Максимальний діаметр пилки	мм	2200
Потужність головного двигуна	кВт	38
Масимальна кількість пилок	шт	9
Максимальний розмір гранітного блоку	мм	3600x2100x950
Габаритні розміри (ДxШxВ)	мм	7500x4000x5500
Кількість використовуваної води	м ³ /Г	30
Вага	т	12



Рисунок 1.2. Верстат багатопильний QSQ-2200

3. Верстат для поздовжнього розпилювання LMD-1000 (рис.1.3)

Технічні параметри даного верстата показані в табл. 1.3[7].

Таблиця 1.3.

Модель		LMD-1000	LMD-1350
Діаметр пилки	мм	1080	1400
Діапазон подйому/опускання пилки станка	мм	100	110
Швидкість возика	м/хвил	5.8	5.8
Хід возика станка	мм	2500	2500
Максимальний розмір заготівки (Д x Ш x В)	мм	2500*1050*100	2500*1350*100

Габаритні розміри (Д х Ш х В)	мм	6000*2000*1830	6010*2450*1860
Потужність головного двигуна	кВт	18	22
Кількість використовуваної води	м ³	10	10
Вага	кг	7800	



Рисунок 1.3. Верстат для поздовжнього розпилювання LMD-1000

4. Шліфувальний верстат QDM-1200 (рис. 1.4)

Технічні параметри даного верстата показані в табл. 1.4[7].

Таблиця 1.4.

Модель		QDM-1200
Частота обертання головки станка	об/хв	560
Швидкість переміщення головки станка	мм/хв	0-5600
Швидкість переміщення возика	мм/хв	0-4300
Встановлений робочий тиск	МПа	0.35-0.5
Продуктивність компресора	м ³ /хв	0.15-0.30
Продуктивність роботи	м ² /Г	2.5-3
Максимальний розмір оброблюваної деталі	мм	3000*1200*120
Габаритні розміри (Д х Ш х В)	мм	6500*2500*2000
Потужність головного двигуна	кВт	12
Потрібність води	м ³ /Г	4
Вага	кг	2500



Рисунок 1.4. Верстат шліфувальний QDM-1200

5. Верстат фугувальний LMD06/2 (рис. 1.5)

Технічні параметри даного верстата показані в табл. 1.5[7].

Таблиця 1.5.

Модель		LMD06/2
Толщина оброблюваних слябов	мм	80
Ширина оброблюваних деталей	мм	320-650
Потужність головного двигуна	кВт	13
Габаритні розміри (Д х Ш х В)	мм	3350*2300*2900
Потрібність води	м ³	10
Вага	кг	3500



Рисунок 1.5. Верстат фугувальний LMD06/2

6. Верстат для поверхневої обробки каменю YFQ-290/700 (рис.1.6)

Технічні параметри даного верстата показані в табл. 1.6[7].

Таблиця 1.6.

Модель		YFQ-290
Довжина обробки	мм	500-900
Максимальний діаметр обробки	Мм	Φ600/2pcs、Φ290/4pcs
Потрібність в воді	м ³	3
Потужність головного двигуна	кВт	16
Загальна потужність	кВт	24
Габаритні розміри (Д x Ш x В)	мм	3200*1225*2100
Вага	кг	2500

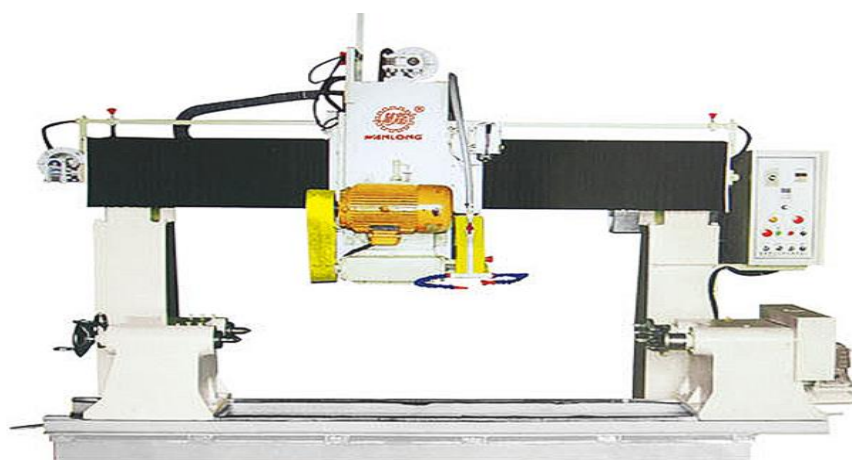


Рисунок 1.6. Верстат для поверхневої обробки каменю YFQ-290/700

7. Кран-балка 40% (рис.17)



Рисунок 1.7. Кран-балка 40%

Загальна потужність електроприводу 50 кВт.

Вище перераховане каменеобробне обладнання може комплектується іншими різними сучасними модифікаціями для забезпечення технологічного процесу.

Для подальших розрахунків системи електропостачання даного виробництва необхідно вибрати із довідникових даних [1,8] значення типових коефіцієнтів потужності $\cos\varphi$ верстатів та їх коефіцієнт використання K_e . Вибрані показники та активну паспортну потужність верстатів P_n заносимо в табл. 1.7.

Таблиця 1.7. Відомість електроспоживачів комплексу переробки граніту

№ п/п	Найменування електроспоживачів	Кількість	Потужність P_n , кВт	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	K_e
1	Верстат для різання каменю «Piligrimmi»	1	22	0,65/1,17	0,17
2	Верстат для поздовжнього розпилювання LMD-1000	2	18	0,65/1,17	0,17
3	Верстат фугувальний LMD06/2	2	13	0,65/1,17	0,17
4	Шліфувальний верстат QDM-1200	2	12	0,6/1,3	0,16
5	Верстат багатопильний QSQ-2200	1	38	0,6/1,3	0,16
6	Верстат для поверхневої обробки каменю YFQ-290	1	24	0,65/1,17	0,17
7	Кран-балка 40%	1	50	0,5/1,73	0,1
	Разом		220		

1.2. Розрахунок балансу споживання електроенергії виробничого комплексу переробки граніту

Для вибору схеми електропостачання комплексу необхідно скласти баланс активної та реактивної потужності.

Для цього по заданим значенням активних навантажень електроспоживачів P_{ni} і коефіцієнтам активної і реактивної потужності

споживачів $\cos\varphi_i$ та $\operatorname{tg}\varphi_i$ із таблиці 1.7 по формулам [5,6] визначаємо загальні сумарні активне $P_{\Sigma_{нав}}$ реактивне $Q_{\Sigma_{нав}}$ та повне $S_{нов}$ навантаження:

$$P_{\Sigma_{нав}} = \sum P_{ni}; \quad Q_{\Sigma_{нав}} = \sum Q_{ni}; \quad S_{нов} = \sum S_i, \quad (1.1)$$

$$\text{де } Q_{ni} = P_{ni} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i, \text{ а } S_i = \sqrt{P_{ni}^2 + Q_{ni}^2}.$$

Результати розрахунків по даним формулам зведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8. Визначення заданих навантажень.

Найменування електроспоживачів	Кількість	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	Потужності		
			P_{ni} , кВт	Q_{ni} ,кВАр	S_i , кВА
Верстат для різання каменю «Piligrimmi»	1	0,65/1,17	22	25,7	33,8
Верстат для поздовжнього розпилювання LMD-1000	2	0,65/1,17	18	21,1	27,7
Верстат фугувальний LMD06/2	2	0,65/1,17	13	15,2	20
Шліфувальний верстат QDM-1200	2	0,6/1,3	12	15,6	19,7
Верстат багатопильний QSQ-2200	1	0,6/1,3	38	49,4	62,3
Верстат для поверхневої обробки каменю YFQ-290	1	0,65/1,17	24	28,1	37
Кран-балка 40%	1	0,5/1,73	50	86,5	100
Разом			220	273,5	367,9

Баланс активної потужності виробничого комплексу.

Сумарна активна потужність для покриття потреб споживачів комплексу переробки граніту знаходимо по формулі [1]:

$$P_{\Sigma_{ном}} = P_{\Sigma_{нав}} + P_{он} + \Delta P_{мер}, \quad (1.2)$$

Сумарна активна потужність споживачів по таблиці 2.3:

$$P_{\Sigma_{нав}} = \sum P_i = 220 \text{ кВт.}$$

Величина активної потужності на особисті потреби відповідно до [1] складає 3% від активної потужності споживачів, тобто:

$$P_{on} = 0,03 \cdot P_{\Sigma нав} = 0,03 \cdot 220 = 6,6 \text{ кВт.}$$

Значення попередніх втрат активної потужності в мережі живлення як правило складає 6% від $P_{\Sigma нав}$ [12] :

$$\Delta P_{мер} = 0,06 \cdot P_{\Sigma нав} = 0,06 \cdot 220 = 13,2 \text{ кВт.}$$

Сумарна активна потужність для покриття потреб споживачів комплексу згідно (1.1) дорівнює:

$$P_{\Sigma ном} = P_{\Sigma нав} + P_{on} + \Delta P_{мер} = 220 + 6,6 + 13,2 = 239,8 \text{ кВт.}$$

Баланс реактивної потужності виробничого комплексу.

Сумарна реактивних потужностей для покриття потреб комплексу переробки граніту знаходимо по формулі [1]:

$$Q_{\Sigma ном} = Q_{\Sigma нав} + Q_{on} + \Delta Q_{мер} \quad (1.3)$$

Сумарна потужність реактивних навантажень споживачів $Q_{\Sigma нав}$ по таблиці 1.8 становить 273,5 кВАр.

Сумарна потужність повних навантажень складає:

$$Q_{\Sigma нав} = \sum Q_{ni} = 273,5 \text{ кВАр.}$$

Величин втрат реактивної потужності на особисті потреби Q_{on} і мережі $\Delta Q_{мер}$ згідно [1] складає відповідно 4% та 10% від сумарної потужності навантажень споживачів $S_{\Sigma нав} = \sum S_{ni}$, яка відповідно до таблиці 1.8 складає 367,9 кВА . Знаходимо ці величини:

$$Q_{on} = 0,04 \cdot S_{\Sigma нав} = 0,04 \cdot 367,9 = 14,7 \text{ кВАр.}$$

$$\Delta Q_{мер} = 0,1 \cdot S_{\Sigma нав} = 0,1 \cdot 367,9 = 36,8 \text{ кВАр.}$$

Сумарна реактивна потужність для покриття потреб споживачів комплексу переробки граніту знаходимо по формулі [1,2]:

$$Q_{\Sigma ном} = Q_{\Sigma нав} + Q_{on} + \Delta Q_{мер} = 273,9 + 14,7 + 36,8 = 419,5 \text{ кВАр.}$$

Знаходимо встановлену реактивну потужність енергосистеми (трансформаторів підстанцій живлення) по формулі [1]:

$$Q_{вст} = P_{\Sigma nom} \cdot tg\varphi_c, \quad (1.4)$$

де $tg\varphi_c$ – тангенс енергосистеми при $cos\varphi_c=0,89$ [7] і визначається по формулі:

$$tg\varphi_c = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_c}}{\cos\varphi_c} \quad (1.5)$$

$$tg\varphi_c = \frac{\sqrt{1 - 0,89^2}}{0,89} = 0,51.$$

Тоді по формулі (2.11):

$$Q_{вст} = 0,51 \cdot 419,5 = 214,9 \text{ кВАр.}$$

Для зменшення споживання реактивної потужності на виробництві необхідно передбачити встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності.

Знаходимо сумарну реактивну потужність компенсуювальних пристроїв $Q_{кб}$, які потрібно встановити в системі живлення комплексу переробки граніту по формулі [4]:

$$Q_{кб} = Q_{\Sigma нав} + Q_{оп} + \Delta Q_{мер} - Q_{вст} = 419,5 - 214,9 = 204,6 \text{ кВАр.}$$

Висновки по першому розділу

В даному розділі був проведений аналіз та вибір основного обладнання комплексу переробки граніту.

Для попереднього вибору схеми електропостачання комплексу складений баланс активної та реактивної потужності.

Для зменшення споживання реактивної потужності на виробництві передбачено використання пристроїв компенсації реактивної потужності.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ТА ВІБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ПО ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТУ

Для вибору схеми електропостачання комплексу по переробці граніту в першу чергу необхідно визначити або побудувати добовий графік навантаження з урахуванням сезонності.

2.1. Побудова планового графіку добового навантаження електроспоживачів виробничого комплексу переробки граніту.

На початку складемо технологічний графік роботи комплексу з вказівкою найменування операцій, типів обладнання, потужності електродвигунів і інших електроприймачів, а також значень приєднаних потужностей.

На підставі даних технологічного графіку роботи комплексу побудуємо графіки витрати електричної енергії для силового навантаження, а потім сумарний. По осі ординат будемо відкладати значення споживаних потужностей, а по осі абсцис - значення тривалості роботи електроспоживачів. Розрахункова потужність підприємства визначатимемо максимумом годинного навантаження по графіку сумарної витрати електричної енергії [7,9].

При складанні графіку слід враховувати велику завантаженість обладнання у вечірні та уранішні години, так званий годинниковий пік. Графік не повинен мати великих стрибків, так як повинно враховуватися ті фактори, що при розрахунку перерізу проводів і потужності трансформатора виходять з максимального добового навантаження [7]. Необхідно також враховувати кількість робочих змін та завантаженість комплексу в залежності від сезонності.

Вважаємо, що робота буде відбуватися в три зміни по 8 годин. Найбільше завантаження комплексу буде в літній період року. Відповідно до [10] визначаємо кількість «зимових» днів $n_3=150$ та «літніх» днів $n_л=215$.

Крім того повинна бути складена технологічна годинникова карта використання обладнання (станків) комплексу виходячи із паспортних даних станків та особливості умов їх роботи (табл.2.1).

Таблиця 2.1. Технологічна карта почасового використання виробничого обладнання.

Найменування виробничого обладнання	Години доби											
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24
Верстат для різання каменю «Piligrimmi»					■	■			■	■		
Верстат для поздовжнього розпилювання LMD-1000					■		■		■		■	
Верстат фугувальний LMD06/2		■						■		■		■
Шліфувальний верстат QDM-1200	■	■		■	■		■		■		■	
Верстат багатопильний QSQ-2200					■	■			■			■
Верстат для поверхневої обробки каменю YFQ-290	■		■	■		■				■		
Кран-балка 40%				■	■				■			■

На основі даних таблиці 2.1 складається таблиця добової витрати електроенергії силовим устаткуванням (табл. 2.2), яка складається для устаткування, приведеного в дію від електродвигуна для зимового періоду [9]. До нього відносяться: механічне, холодильне, мийне, підйомно-транспортне обладнання, а також вентилятори і насоси. У таблицю вносяться основні параметра приводного електродвигуна і дані, що характеризують особливості роботи електроприводу механізму.

Значення приєднаної (встановленою) потужності P_{np} визначається по формулі :

$$P_{np} = P_n / \eta_n , \quad (2.1)$$

де P_n – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

η_n – номінальний ККД електродвигуна, який береться із таблиці характеристики двигуна відповідної потужності і швидкості обертання.

Для визначення середнього розрахункового навантаження електроприводу необхідно враховувати не тільки фактичну тривалість його роботи, але і степiнь завантаження електродвигуна по потужності, яка виражається коефіцієнтом завантаження K_z [1].

По суті коефіцієнт завантаження це міра використання устаткування або робочих місць за часом.

Коефіцієнт завантаження для однієї операції дорівнює відношенню розрахункового числа верстатів до прийнятого числа верстатів [11]:

$$K_z = C_p / C_{np} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де: C_p - розрахункова кількість устаткування на даній операції (робочих місць), од.;

C_{np} - прийнята кількість устаткування на цій операції (робочих місць), од.

Коефіцієнт завантаження визначається по кожній операції технологічного процесу.

$$P_{cp} = P_{np} \cdot K_z \quad (2.3)$$

Відповідно до [1,11] приймаємо величину коефіцієнта завантаження $K_z \approx 1$.

Добове розподілення використання електроенергії силовим устаткуванням комплексом показано в табл. 2.2.

Для проведення розрахунків відповідно до [1,2,5] вибираємо $\eta_n = 0,9$, тоді відповідно $P_{np} = P_{cp} = P_n / \eta_n = 1,1 \cdot P_n$.

Добовий графік навантаження за тривалістю будується на основі добового розподілення використання електроенергії силовим устаткуванням комплексом що показано в табл.1.10 [4,6] літньої пори року.

Для зимньої пори року рахуємо, що комплекс переробки буде працювати в одну зміну з 8 до 18 годин при тих же навантаженнях станків що і влітку.

Таблиця 2.2. Використання електроенергії силовим устаткуванням.

Найменування виробничого обладнання	P_n , кВт	P_{cp} , кВт	τ , г/доб	Години доби																										
				1-2	3-4	5	6	7	8	9-10	11	12	13-14	15	16	17-18	19	20	21-22	23	24									
Верстат «Pilgrimmi»	22	24,2	8									24,2	24,2	24,2					24,2	24,2	24,2									
Верстат LMD-1000	36	39,6	10									39,6					39,6	39,6	39,6	39,6							39,6			
Верстат LMD06/2	26	28,6	8		28,6												28,6	28,6		28,6	28,6					28,6	28,6		28,6	28,6
Верстат QDM -1200	24	26,4	14	26,4	26,4			26,4	26,4	26,4					26,4				26,4								26,4			
Верстат QSQ-2200	38	41,8	10								41,8	41,8	41,8				41,8	41,8	41,8										41,8	41,8
Верстат YFQ-290	24	26,4	10	26,4		26,4	26,4	26,4	26,4			26,4	26,4								26,4	26,4							26,4	26,4
Кран-балка * 40%	50	16,5	6				16,5		16,5								16,5	16,5		16,5	16,5							16,5	16,5	
Разом		203,5		52,8	55	26,4	42,9	52,8	69,3	147,6	92,4	108,9	66	126,5	110	132	95,7	79,4	66,4	86,6	60,4									

Примітка: Для кран –балки $K_3 = 0,3$, тому $P_{cp} = 1,1 \cdot P_n \cdot 0,3$

Добовий графік навантаження для комплексу по переробці граніту зображений на рис. 2.1.

Далі потрібно побудувати річний графік навантаження за тривалістю та знайти число годин використання максимуму навантаження [4].

На річному графіку нумеруються ступені графіків зимового та літнього періоду починаючи з максимального значення.

Сумарна тривалість i -го ступеня річного графіка визначається по формулі [4]:

$$T_i = T_{iz} + T_{il}, \quad (2.4)$$

де T_{iz} - сумарна річна тривалість i -го ступеня по зимовому графіку; T_{il} - сумарна річна тривалість i -го ступеня по літньому графіку, які визначаються по формулам [1]:

$$T_{il} = t_{il} \cdot n_{il}, \quad (2.5)$$

$$T_{iz} = t_{iz} \cdot n_{iz}, \quad (2.6)$$

де t_{il} – сумарна добова тривалість i - го ступеня по літньому графіку; t_{iz} – суммарна добова тривалість i - го ступеня по зимовому графіку.

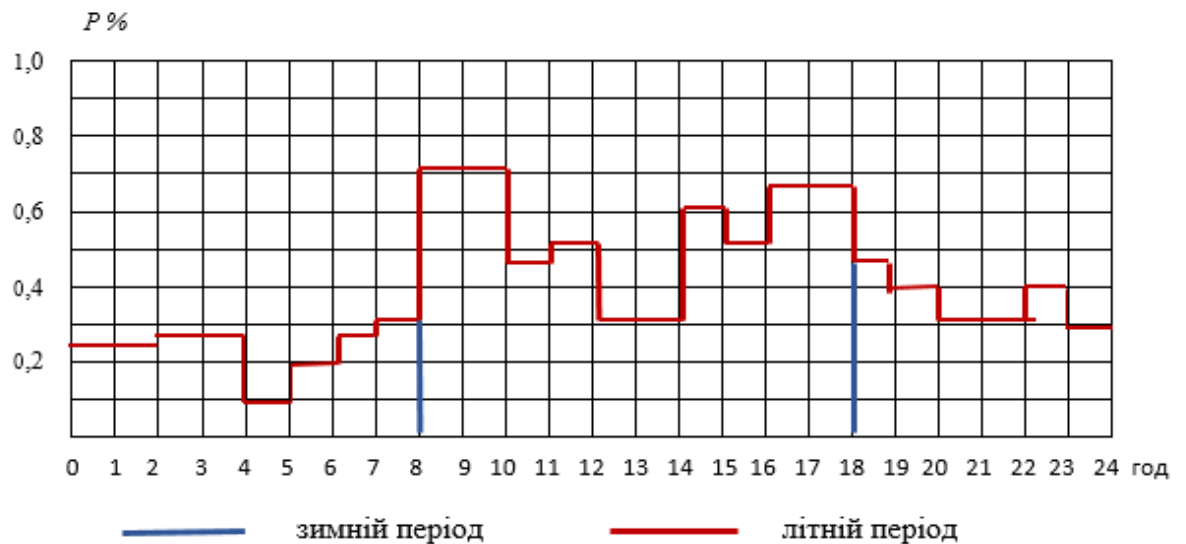


Рисунок 2.1. Добовий графік навантаження виробничого комплексу переробки граніту с. Буки

Сумарні річні тривалості вираховані по формулах (2.5) та (2.6) для всіх ступенів добового графіка рис. 2.1 зведені в таблицю 2.3:

Таблиця 2.3 – Побудова річного графіка навантаження по тривалості

№ ступені	P_i у.о.	t_{iz} год.	t_{il} год.	T_{iz} год.	T_{il} год.	$T_i = T_{iz} + T_{il}$ год.	$P_{i(y.o.)} \cdot T_i$ год.
1	0,7	4	4	600	860	1460	1022
2	0,6	1	1	150	215	365	219
3	0,5	3	4	450	860	1310	655
4	0,4	–	2	–	430	430	172
5	0,3	2	11	300	2365	2665	800
6	0,2	–	1	–	215	215	43
7	0,1	–	1	–	215	215	22
8	0	14	0,5	1050	–	1050	53
Разом:		10	24	1550	5210	8760	2986

Далі визначимо число годин використання максимуму навантаження по виразу [4,6] :

$$T_M = \frac{\sum P_i * T_i}{P_M}, \quad (2.4)$$

Так як графіки представлені в відносних одиницях, $P_M=1$, то

$$T_M = \sum P_i * T_i, \quad (2.5)$$

Число годин використання максимуму навантаження згідно (2.5):

$$T_M = 2986 \text{ год.}$$

По значенню T_M згідно ПУЕ [3] визначається j_e - економічна щільність струму для вибраної марки проводу. Вибираємо провід марки АС, для нього $j_e = 1.3 \text{ А/мм}^2$. За даними таблиці 2.3 будемо річний графік за тривалістю.

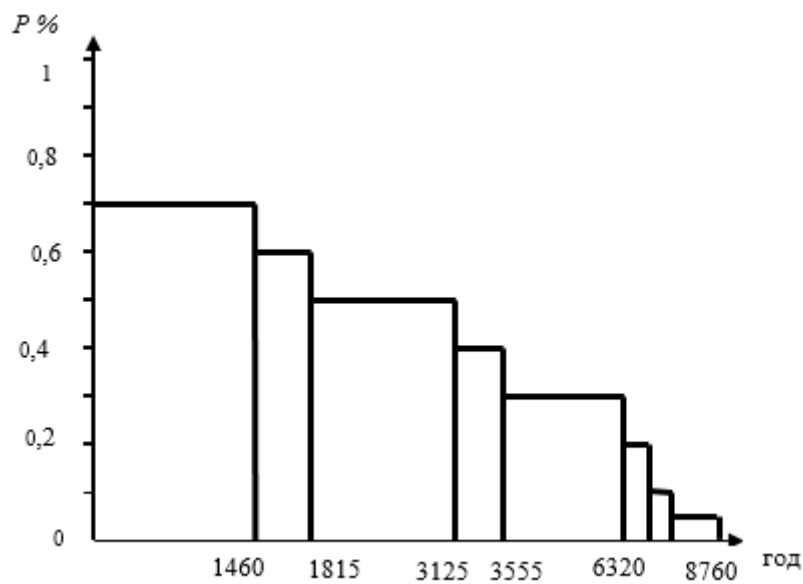


Рисунок 2.2. Річний графік активного навантаження за тривалістю

2.2. Обґрунтування та вибір варіанту електричної мережі та матеріалу проводів

Для виконання живлення споживачів електроенергії в даному районі згідно ПУЕ [3] будемо використовувати повітряні лінії на залізобетонних опорах.

Проводи ЛЕП вибираємо сталевалюмінієві марки АС. Відстань між фазами приймаємо в залежності від номінальної напруги 10 кВ – 1 м (Додаток А).

Варіант підключення комплексу переробки граніту відносно електромережі 10 кВ Зарічанського РЕМ, приведені на рисунку 2.3. Згідно ПУЕ [3] та [11] вибираємо категорію електропостачання комплексу 3.

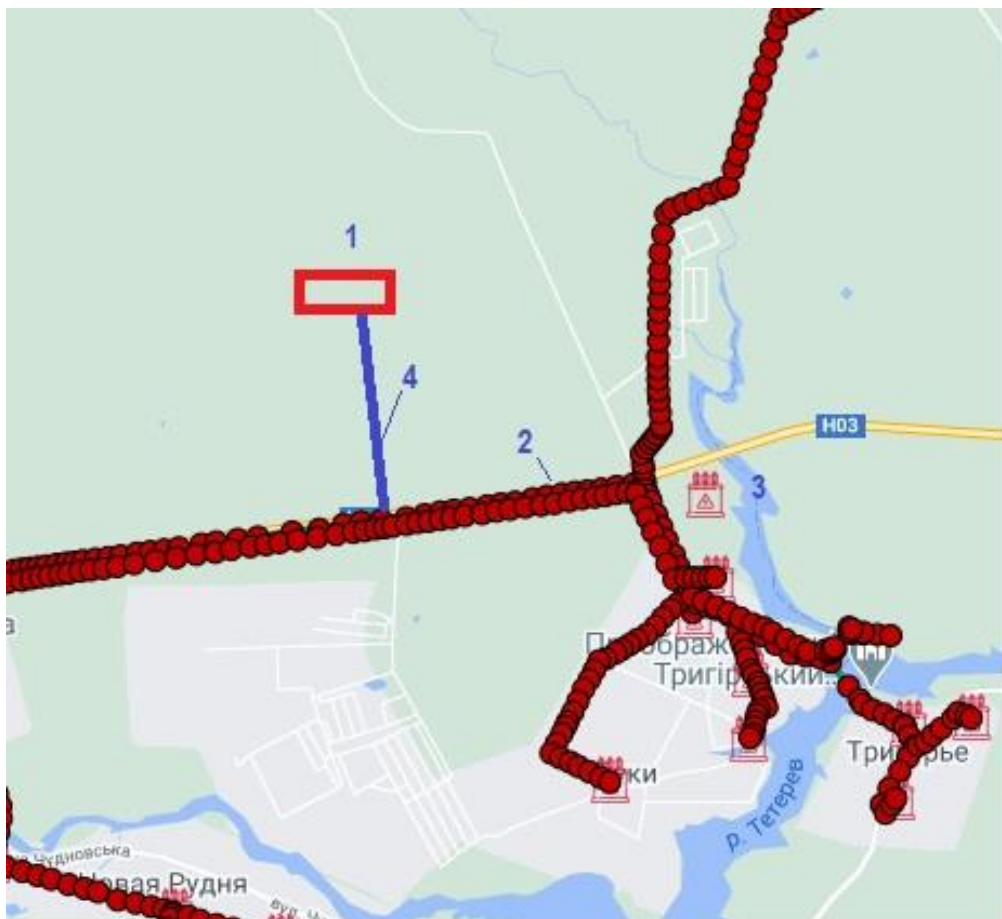


Рисунок 2.3. Варіант підключення комплексу до мережі 10 кВ

1– територія комплексу 2– мережа 10 кВ; 3– ТП 10 кВ; 4– траса мережі підключення.

Попередній розрахунок варіанту живлення комплексу будемо проводити в наступній послідовності [5,6]:

1. Вибір номінальної напруги мережі електропостачання;
2. Розрахунок робочого струму мережі електропостачання;
3. Вибір орієнтовного перетину проводів повітряної лінії електропостачання;
4. Перевірка проводу по величині струму для найбільш важкого після аварійного режиму;
5. Перевірка мережі електропостачання по втраті напруги в нормальному та після аварійному режимах;
6. Розрахунок втрати напруги в % від номінального значення.

Вибір номінальної напруги мережі живлення.

Для вибору номінальної напруги районої мережі використовуємо формулу Стілла [2]:

$$U_{н\ роз}^i = 16 \cdot \sqrt[4]{P_{\Sigma ном} \cdot l_{ЛЕП}} \quad , \quad (2.6)$$

де $l_{ЛЕП}$ – довжина вибраного варіанту мережі, відповідно до мапи електричних мереж Зарічанського РЕМ складає 1,2км.

Відповідно до (2.6) маємо:

$$U_{н\ роз} = 16 \cdot \sqrt[4]{0,24 \cdot 1,2} = 0,56 \text{ кВ}$$

Розрахунок робочого струму мережі живлення.

Робочі струми участків мережі електропостачання визначаємо по формулі [6]:

$$I_{роб} = \frac{S_{нов}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n} \quad , \quad (2.7)$$

де $S_{нов}$ – повна потужність, яка вибирається по таблиці 1.8;

n – число ланцюгів лінії електропередачі.

Відповідно до (2.7) маємо:

$$I_{роб} = \frac{370}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 21,7 \text{ А.}$$

Вибір перетину проводів повітряної ЛЕП.

Перетин проводів мережі живлення визначаємо по економічній густині струму [8]:

$$F = \frac{I_{роб}}{j_{ек}} , \quad (2.8)$$

Відповідно до (2.8) маємо:

$$F = \frac{21,7}{1,3} = 16,7 \text{ мм}^2.$$

По таблиці Д1.2 Додатку А вибираємо з урахуванням втрат провід марки АС–16.

Перевірка проводу струму для найбільш важкого після аварійного режиму.

Перевірка проводу струму для найбільш важкого після аварійного режиму проводиться відповідно до умови [6]:

$$I_{доп трив} \geq I_{ав роз} , \quad (2.9)$$

де $I_{доп трив}$ – допустимий тривалий струм перевантаження, який береться по таб. Д1.2 Додатку А;

$I_{ав роз}$ – аварійний розрахунковий струм для найбільш важкого режиму, відповідно до [5] визначається як:

$$I_{ав роз} = n \cdot I_{роб} = 21,7 \text{ А,}$$

де n – число ланцюгів лінії електропередачі.

Перевіряємо умову (2.16): $320 \text{ А} \geq 12,7 \text{ А.}$

Перевірка мережі по втраті напруги в нормальному та після аварійному режимах.

Перевірка мережі по втраті напруги в нормальному та після аварійному режимах проводиться відповідно [5,6] по параметрам схеми заміщення ЛЕП 10 кВ (рис.2.4).

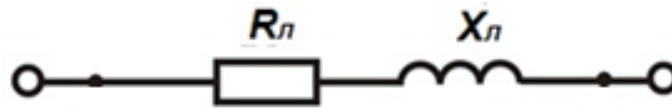


Рисунок 2.4. Схема заміщення ЛЕП 10 кВ.

Параметрами схеми заміщення ЛЕП являються:

X_l, R_l - відповідно індуктивний і активний опори схеми заміщення лінії,

Для ЛЕП напругою 10 кВ відповідно індуктивний та активні опори визначаються виразами [13]:

$$X_l = x_0 \cdot l, \quad R_l = r_0 \cdot l,$$

де x_0, r_0 - відповідно погоні індуктивний і активний опори, (Ом/км)

Значення x_0, r_0 приймаються відповідно таблицям Д1.2, 1.3 Додатку А.

Результати розрахунків параметрів схеми заміщення для номінальної напруги 10 кВ зведені в таблицю 2.4

Таблиця 2.4. Параметри схеми заміщення ЛЕП $U_n = 10$ кВ

Лінія	Провід	n	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	l , км	R_l , Ом	X_l , Ом
4	АС 16	1	2.060	0.377	1,2	2,5	0,5

Втрати напруги в % від номінальної в мережі в нормальному режимі визначаються по формулам [4,14]:

$$\Delta U_i = \frac{P \cdot R_i + Q \cdot X_i}{U_i} \quad (2.10)$$

$$\Delta U_i \% = \frac{\Delta U_i}{U_n} \quad (2.11)$$

Результати розрахунків втрат напруги в нормальному режимі для напруги 10 кВ зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5. Втрати напруги в нормальному режимі $U_n = 10$ кВ ЛЕП

Лінія	P , кВт	Q , кВАр	R , Ом	X , Ом	ΔU кВ	ΔU %
4	220	273	4,95	6,05	0,075	0,75

Висновки по другому розділу

В результаті розрахунків були визначені основні параметри лінії живлення комплексу переробки граніту:

1. Вибрана одно провідна повітряна ЛЕП номінальної напруги 10 кВ з проводом марки АС 16;
2. Проведені розрахунки по балансу активної та реактивної потужності;
3. Визначені схеми заміщення повітряної ЛЕП для вибраного варіанту мережі;
4. Проведені розрахунки втрат напруги в нормальному режимі роботи мережі, вони не перевищують 1%.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ПО ПЕРЕРОБЦІ ГАНИТУ

3.1. Вибір числа и потужності силових трансформаторів

Як правило на подібних виробничих комплексах встановлюються два однакових трансформатори такої потужності, щоб при виході із ладу одного із них другий трансформатор забезпечив роботу основних споживачів на період відновлення пошкодженого[2,4]. При цьому враховується, як здатність трансформаторів працювати в режимі перевантаження, так і можливість обмеження споживачів в постачанні електроенергії. Встановлення на підстанції одного трансформатора дозволяється у випадку, якщо буде забезпечена задана надійність електропостачання.

Потужність трансформаторів ГПП визначається на основі заданих, або розрахункових значень навантаження виробництва. Вибір виконується з урахуванням допустимого навантаження в нормальному режимі, режимі максимальних навантажень та в режимі допустимих аварійних перевантажень.

Необхідну номінальну потужність трансформаторів визначають за середньою потужністю найбільш завантаженої зміни.

Для двох трансформаторних підстанцій [4,6]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq (0,5 - 0,7) \cdot S_p \quad (3.1)$$

де $(0,5 - 0,7)$ – значення коефіцієнта заповнення графіка навантаження найбільш завантаженої зміни виробничого комплексу ;

S_p – повна розрахункова потужність виробничого комплексу.

Необхідну номінальну потужність трансформаторів одно трансформаторних підстанцій визначають за формулою [4]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq (0,75 \dots 0,8) S_p, \quad (3.2)$$

де 0,75...0,8 – значення коефіцієнта заповнення графіка навантаження найбільш завантаженої зміни підприємств, що отримані на основі статистичного обстеження підстанцій різних виробничих комплексів.

Потім вибраний трансформатор перевіряється на допустимість систематичних перевантажень в години максимальних навантажень.

Знаходимо по графіку навантаження комплексу переробки граніту середнє квадратичне навантаження для характерних літніх днів (рис.2.1) по формулі [15]:

$$S_{ск} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k S_i^{*2} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^k t_i}}, \quad (3.3)$$

де S_i^* – потужність ступені навантаження в відносних одиницях ;

t_i - тривалість ступені в годинах;

k – кількість ступенів графіка.

Для графіку навантаження на рисунку 2.1 маємо по формулі (3.3):

$$S_{ск} = \sqrt{\frac{0,7^2 \cdot 4 + 0,6^2 \cdot 1 + 0,5^2 \cdot 4 + 0,4^2 \cdot 2 + 0,3^2 \cdot 11 + 0,2^2 + 0,1^2}{24}} = 0,65$$

Знаходимо орієнтовну потужність трансформатора по формулі [14]:

$$S_{ор} = S_{ск} \cdot S_{роз} / n \quad (3.4)$$

Вона буде дорівнювати 120 кВА.

Із таблиці Б1 Додатку Б вибираємо трансформатор типу ТМ –180/10 з характеристиками приведеними в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики силових трифазних трансформаторів з природним охолодженням

Тип	Ст.ном, кВА	Напруга, кВ		Втрати, кВт		u_k , %	I_x , %	Опір фази, мОм	
		ВН	НН	ΔP_x	ΔP_k			x	r
ТМ-180/10	180	10	0,4	1,2	44,1	5,5	6,6	25,8	9,7

3.2. Перевірка трансформаторів на перевантаження

За наявності графіка навантаження та його перетворення в еквівалентний двоступінчастий графік визначення коефіцієнтів попереднього навантаження k_1 і перевантаження k_2 виконується в такій послідовності:

1) на графіку очікуваного навантаження проводять лінію номінальної потужності трансформатора $S_{ном.т}$;

2) за перетином лінії номінальної потужності з графіком навантаження виділяють інтервал часу перевантаження тривалістю h ;

3) розраховують коефіцієнти початкового навантаження і перевантаження за формулами [5,7,16]:

$$k_1 = \frac{1}{S_{ном.т.}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}, \quad k_2 = \frac{1}{S_{ном.т.}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_j^2 \cdot \Delta t_j}{\sum \Delta t_j}}, \quad (3.5)$$

де S_i – потужність навантаження на i -й сходинці графіка ($S_i \leq S_{ном.т}$);

S_j – потужність навантаження на j -й сходинці графіка ($S_j > S_{ном.т}$);

$\sum \Delta h_j = h'$ – тривалість перевантаження;

4) отримане значення k_2' порівнюють з k_{max} графіка навантаження $k_{max} = S_M(S_{ном.т})$; якщо $k_2' \geq 0,9k_{max}$ то приймають $k_2 = k_2'$ і $h = h'$; якщо $k_2' \leq 0,9k_{max}$ то приймають $k_2 = 0,9k_{max}$ а тривалість перевантаження в цьому випадку корегується за формулою:

$$h = \frac{(k_2')^2 \cdot h'}{(0,9k_{max})^2}. \quad (3.6)$$

Превіряємо допустимість аварійного перевантаження при виході з ладу одного трансформатора. Для цього використовуємо графік навантаження [4,5] (рис.3.1).

Проведемо лінію номінального навантаження:

$$S_{ном.т.\%} = \frac{S_{ном.т.}}{S_{роз}} \cdot 100 = \frac{180}{370} \cdot 100 = 49$$

де $S_{ном.т.}$ – номінальна потужність трансформатора;

З графіка випливає, що тривалість перевантаження $h = 7$ годин.

Визначаємо коефіцієнт початкового навантаження:

$$k_1 = \frac{1}{S_{ном.т.}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}} = \frac{1}{180} \cdot \sqrt{\frac{70^2 \cdot 2 + 50^2 + 60^2 + 67^2 \cdot 2}{7}} = 0,331$$

де S_i – потужність навантаження на i – й сходинці графіка;

t_i – тривалість навантаження.

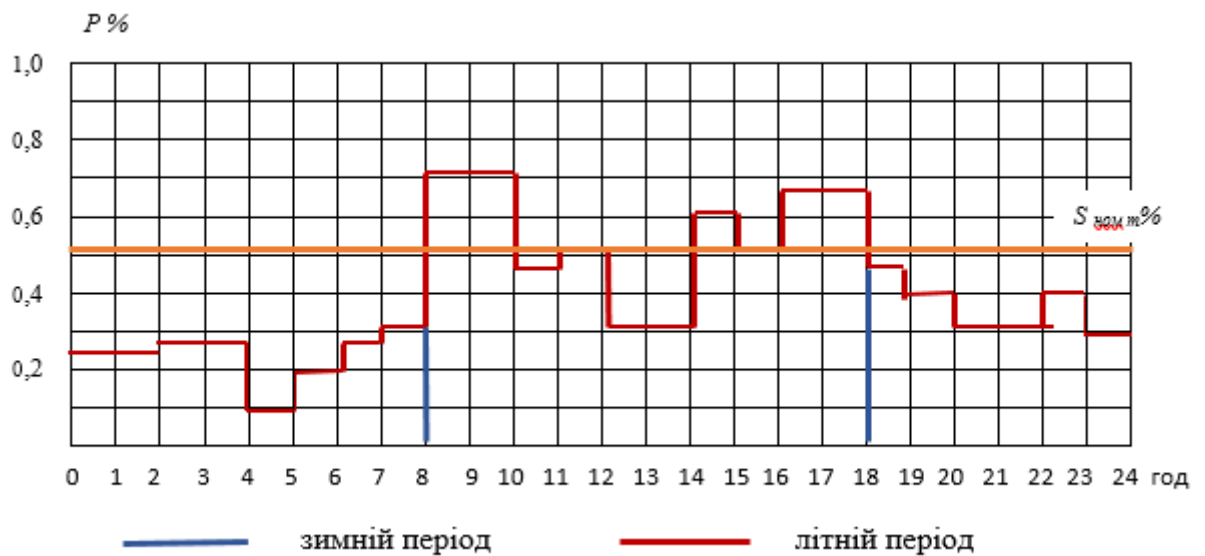


Рисунок 3.1. Добовий графік навантаження

Визначаємо коефіцієнт перевантаження:

$$k_2 = \frac{1}{S_{ном.т.}} \cdot \sqrt{\frac{S_j^2 \cdot h_j}{h_j}} = \frac{1}{180} \cdot \sqrt{\frac{70^2 \cdot 2 + 50^2 + 60^2 + 67^2 \cdot 2}{17}} = 0,242$$

де S_j – потужність навантаження на j – й сходинці графіка;

$h_j = h'$ – тривалість перевантаження;

Максимальне навантаження :

$$k_{max} = \frac{S_{м.}}{S_{ном.т.}} = \frac{368}{180} = 2,01$$

Оскільки $k' > 0,9 \cdot k_{max} = 0,9 \cdot 2,01 = 1,8$, то приймаємо $k_2 = k' = 0,242$ і $h = h' = 7$ годин.

Порівнюючи значення k_2 з приведеними в таблиці 3.1 можна зробити висновок про допустимість аварійних перевантажень вибраних трансформаторів.

Таблиця 3.1– Допустимі аварійні перевантаження трансформаторів з системами охолодження ONAN, ON при $k_1=0,8$

h , год.	Трансформатори типу ONAN, °C							Трансформатори типу ON, °C						
	-20	-10	0	10	20	30	40	-20	-10	0	10	20	30	40
0,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
1,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,9	1,8	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3
4,0	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2
8,0	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
24,0	1,7	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	1,2	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1

Номинальна потужність трансформатора однострансформаторної ГПП вибираємо з умови:

$$S_{ном.т} \geq (0,75 - 0,8) \cdot S_m = (0,75 - 0,8) \cdot 368 = (280 - 305) \text{ (кВА)}$$

Для однострансформаторної підстанції вибираємо трансформатор серії ТМ – 320 / 10.

Висновки по третьому розділу

В результаті проведених попередніх розрахунків було вибрано двох трансформаторну підстанцію з трансформаторами типу ТМ–180/10 з номінальною потужністю 180 кВА кожний.

За наявності графіка навантаження визначені коефіцієнти попереднього навантаження і аварійного перевантаження. Порівнюючи значення розрахованого коефіцієнта перевантаження в аварійному режимі з табличними можна зробити висновок про допустимість аварійних перевантажень вибраних трансформаторів.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень в кваліфікаційній роботі було проведено обґрунтування структури підприємства по переробці граніту. Визначені його технічні характеристики.

Був проведений попередній розрахунок електричної мережі живлення полігону. Для цього розглянута структура мереж Зарічанського РЕМ та визначені трансформаторні підстанції можливого відведення напруги. Проведений аналіз визначив, що найбільш раціональним варіантом являється мережа 10 кВ.

Вибрана одно провідна повітряна ЛЕП номінальної напруги 10 кВ з проводом марки АС 16;

На основі типового графіку навантаження для підприємств переробної промисловості побудований річний графік активного навантаження за тривалістю. Повне навантаження підприємства переробки складає 368 кВт.

Проведені розрахунки по балансу активної та реактивної потужності, а також визначені параметри схеми заміщення ЛЕП для двох варіантів мережі

Проведені розрахунки втрат напруги в нормальному режимі роботи мережі, та в режимі аварійних відключень, вони не перевищують 2, %.

Розраховані параметри трансформаторної підстанції на базі двох трансформаторів типу ТМ–180/10, та визначені коефіцієнти попереднього навантаження і аварійного перевантаження.

ВИКОРИСТАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

- 1.Справочник по проектированию электроснабжения/Под ред. Ю. Г. Барыбиия и др.– М.: Энергоатомюдат, 1990.– 576 с– (Электроустановки промышленных предприятий/Под общ. ред. Ю. Н. Тишейко и др.)
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. Электроснабжение /Под общ. ред. А. А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1986.-568 с: ил.
3. Правила улаштування електроустановок// Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості №476 від 21.07.2017р.
4. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.
5. І.І.Мартиненко , В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко , І.М. Болбот, П.В. Олійник Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник. – К., 2008. – 330 с.
6. Наумов И.В., Лещинская Т.Б., Бондаренко С.И. Проектирование систем электроснабжения: межвузовское учебное пособие для самостоятельной работы студентов/ Под общей редакцией И.В. Наумова. - Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2011.- 327 С.
7. https://www.stanki.ru/catalog/kamneobrabatyvayushchee_oborudovanie/
- 8.Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектирование и расчет /А.С. Овчаренко и др. - Киев: Техніка, 1985.-185с.
- 9.<https://studizba.com/lectures/115-selskoe-hozjajstvo-i-pischevaja-promyshlennost/>
10. Постанова КМУ №509 від 13 травня 1996 р. Про порядок обчислення часу на території України
11. <https://studfile.net/preview/383884/page:4/>
12. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів Наказ Міністерства палива та енергетики №91 від 13.02.2012.

13. Про Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання// Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості №399 від 21.06.2013р

14. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.

15. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 154 с.

Додаток А

Таблиця Д1.1

			Тип проводу	Конструктивні дані
--	--	--	-------------	--------------------

Номер варіанту	Тип ЛЕП	$U_{ном},$ кВ		Довжина ЛЕП, км	Средня геометрична відстань між фазними проводами, м	Кількість проводів у фазі (ПЛ)/проводів у жилі (КЛ)	Відстань між осями проводів у розщепленому проводі, см
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ПЛ	10	АС-16	8	0,8	1	—
2	ПЛ	6	АС-25	5	1	1	—
3	ПЛ	35	АС-70	10	3	1	—
4	ПЛ	35	АС-95	12	4	1	—
5	ПЛ	110	АС-120	15	4,5	1	—
6	ПЛ	150	АС-150	20	5	1	—
7	ПЛ	500	АС-300	33	14	3	40
8	ПЛ	10	АС-35	15	2	1	—
9	ПЛ	220	АС-500	40	7	1	—
10	ПЛ	220	АС-300	24	7	1	—
11	ПЛ	35	АС-50	31	2,5	1	—
12	ПЛ	6	АС-16	26	1	1	—
13	ПЛ	110	АС-205	43	2,5	1	—
14	ПЛ	330	АС-300	27	11	2	40
15	ПЛ	330	АС-240	44	11	2	30
16	ПЛ	220	АС-240	44	7	1	—
17	ПЛ	500	АС-400	38	11	2	40
19	ПЛ	750	АС-240	57	13	5	40
20	ПЛ	110	АС-240	42	5	1	—
21	ПЛ	220	АС-400	32	7	1	—
22	ПЛ	150	АС-150	28	4	1	—

Таблиця Д1.2

Активні опори алюмінієвих і сталюалюмінієвих проводів

Марка проводу	Зовнішній діаметр проводу, мм	Тривало допустимий струм навантаження, А		Погонний активний опір r_0 , Ом/км
		зовні приміщень	всередині приміщень	
Сталюалюмінієві проводи				
АС-10	4,4	80	50	3,120
АС-16	5,4	105	75	2,060
АС-25	6,6	130	100	1,38
АС-35	8,4	175	135	0,850
АС-50	9,6	210	165	0,650
АС-70	11,4	265	210	0,460
АС-95	13,5	330	260	0,33
АС-120	15,2	380	305	0,270

АС-150	17,0	445	360	0,210
АС-185	19,0	510	425	0,170
АС-240	21,6	605	505	0,130
АС-300	23,5	690	580	0,108
АС-400	27,2	825	710	0,080
АС-500	30,2	945	815	0,065
АС-600	33,1	1050	920	0,055
АСО-700	37,1	1220	1075	0,044
АСУ-120	15,5	375	–	0,288
АСУ-150	17,6	450	–	0,210
АСУ-185	19,6	515	–	0,170
АСУ-240	22,4	610	–	0,131
АСУ-300	25,2	705	–	0,106
АСУ-400	29,0	850	–	0,079

Таблиця Д1.3

Індуктивні опори алюмінієвих і сталюалюмінієвих проводів

Погонні індуктивні опори x_0 , Ом/км										
Сталюалюмінієві проводи										
Средньо-геометричні відстані між фазними проводами D_{cp} , м	АС-35	АС-50	АС-70	АС-95	АС-120	АС-150	АС-185	АС-240	АС-300	АС-400
2,0	0,403	0,392	0,382	0,371	0,365	0,358	–	–	–	–
2,5	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	–	–	–	–
3,0	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369	–	–
4,0	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0,401	0,394	0,386	–	–
4,5	–	–	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0,392	–	–
5,0	–	–	0,440	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401	–	–
5,5	–	–	–	–	0,430	0,422	0,415	0,407	–	–
6,0	–	–	–	–	–	–	–	0,413	0,404	0,396
6,5	–	–	–	–	–	–	–	–	0,409	0,400
7,0	–	–	–	–	–	–	–	–	0,414	0,406
7,5	–	–	–	–	–	–	–	–	0,418	0,409
8,0	–	–	–	–	–	–	–	–	0,422	0,414
8,5	–	–	–	–	–	–	–	–	0,425	0,418

Додаток Б

Таблиця Б1. Технічні характеристики силових трифазних трансформаторів з природним охолодженням

Тип	Ст.ном, кВА	Напруга, кВ		Втрати, кВт		и _к , %	I _х , %	Опір фази, мОм	
		ВН	НН	ΔР _х	ΔР _к			х	г
ТМ-10/6	10	6	0,4	0,105	0,335	5,5	10	363	240
ТМ-20/6	20	6	0,4	0,18	0,6	5,5	9	152	84
ТМ-20/10	20	10	0,4	0,22	0,6	5,5	10	369	240
ТМ-50/6	50	6	0,525	0,35	1,325	5,5	6,5	78,5	38
ТМ-50/10	50	10	0,4	0,44	1,325	6,5	7,5	152	84
ТМ-100/35	100	35	0,525	0,9	2,4	6,5	7	96	38
ТМ-180/6	180	6	0,525	1	4	5,5	8	26	9,7
ТМ-180/10	180	10	0,525	1,2	44,1	5,5	6,6	25,8	9,7
ТМ-180/35	180	35	0,4	1,5	4,1	6,5	7	53,4	20
ТМ-320/6	320	6	0,525	16	6,07	5,5	7,5	15	4,9
ТМ-320/10	320	10	0,525	1,9	6,2	5,5	6	14,9	4,8
ТМ-320/35	320	35	0,4	2,3	6,2	6,5	6,5	31	9,7
ТМ-560/10	560	10	6,3	2,5	9,4	5,5	6	10,8	3,9
ТМ-560/35	560	35	10,5	3,35	9,4	6,5	6,5	17,9	4,8
ТМ-750/10	750	10	0,525	4,1	11,9	5,5	6	14,6	4,14
ТМ-1000/35	1000	35	10,5	5,1	15	6,5	5,5	17,4	4,14
ТСМА-60/6-10	60	10	0,4	0,575	1,3		4,5	7,5	97,34
ТСМА-100/6-10	100	10	0,4	0,4	2,07		4,5	6,5	97,42
ТСМА-100/6-10	100	10	0,525	0,575	2,07		4,5	6,5	97,42
ТСМА-180/6-10	180	10	0,525	1	3,2		4,5	6	97,72