

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва транспорту та енергетики  
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”  
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ  
к.т.н., професор  
\_\_\_\_\_Петро ПЛЕШКОВ  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_2026р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за першим (бакалаврським) рівнем вищої**  
**освіти**  
**на тему**  
**“Розроблення електротехнічної системи**  
**електроспоживання броварні продуктивністю 45**  
**тис. гектолітрів на рік”**

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу, групи ЕЕ-23 мб  
ОПП «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_Міхлік К.В.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_2026р.

Керівник роботи  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_Андрій КОТИШ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_2026р.

Рецензент \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет Будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА  
ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ  
ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Міхліка Костянтина Вікторовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розроблення електротехнічної системи

електроспоживання browарні продуктивністю 45 тис. гектолітрів на рік

Development of an electrical system for power consumption of a brewery with a capacity of 45 thousand hectoliters per year

2. Керівник роботи (проекту)

Котий Андрій Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Електричні навантаження; 2.Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки; 3.Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; 4.Компенсація реактивної потужності; 5.Трансформаторні підстанції; 6.Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 7.Спеціальний розділ; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

| Розділ                    | Консультант                      | Підпис, дата   |                  |
|---------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
|                           |                                  | Завдання видав | Завдання прийняв |
| <i>Спеціальний розділ</i> | <i>к.т.н., доц. Н. Гарасьова</i> |                |                  |
|                           |                                  |                |                  |
|                           |                                  |                |                  |
|                           |                                  |                |                  |
|                           |                                  |                |                  |

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи                                                                              | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | <i>Вступ</i>                                                                                                               | <i>08.05.26</i>               |          |
| 2     | <i>Електричні навантаження</i>                                                                                             | <i>12.05.26.</i>              |          |
| 3     | <i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки</i>                         | <i>16.05.26.</i>              |          |
| 4     | <i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>                    | <i>19.05.26.</i>              |          |
| 5     | <i>Компенсація реактивної потужності</i>                                                                                   | <i>21.05.26.</i>              |          |
| 6     | <i>Трансформаторні підстанції</i>                                                                                          | <i>24.05.26</i>               |          |
| 7     | <i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i> | <i>28.05.26.</i>              |          |
| 8     | <i>Спеціальний розділ</i>                                                                                                  | <i>01.06.26.</i>              |          |

Дата видачі завдання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Підпис керівника \_\_\_\_\_

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: с.; 22 рис.; 24 табл.; 14 джерел.

Міхлік К.В. Розроблення електротехнічної системи електроспоживання броварні продуктивністю 45 тис. гектолітрів на рік. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2026 р.

У випускній кваліфікаційній роботі представлено комплексний проєкт системи електропостачання та автоматизації сучасної броварні. Проведено детальний розрахунок електричних навантажень, побудовано добові та річні графіки енергоспоживання, а також складено картограму для визначення центру електричних навантажень. Виконано техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання, за результатами якого обрано оптимальний варіант живлення. Здійснено розрахунок балансу потужності та обрано установки для компенсації реактивної потужності. На основі розрахунків струмів короткого замикання виконано вибір силових кабелів та комутаційного обладнання.

Спеціальний розділ роботи присвячено проєктуванню системи автоматичного регулювання температури пастеризації пива. Для цього було розроблено математичну модель об'єкта, перевірено стійкість системи за критерієм Рауса-Гурвіца та розраховано оптимальні параметри ПІ-регулятора в середовищі MATLAB/Simulink.

Ключові слова: електротехнічна система електроспоживання, електроприймач, електричне навантаження, потужність, електрична енергія, система автоматизованого регулювання.

|      |      |          |        |      |      |
|------|------|----------|--------|------|------|
|      |      |          |        |      | Арк. |
|      |      |          |        |      |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

## SUMMARY

Mikhlik K.V. Development of an electrical system for power consumption of a brewery with a capacity of 45 thousand hectoliters per year. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Electric power, electrical engineering and electromechanics". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2026.

The final qualification work presents a comprehensive project of the power supply and automation system of a modern brewery. A detailed calculation of electrical loads was carried out, daily and annual energy consumption schedules were built, and a cartogram was drawn up to determine the center of electrical loads. A feasibility study of external power supply schemes was carried out, based on the results of which the optimal power supply option was selected. A power balance calculation was carried out and installations for reactive power compensation were selected. Based on the calculations of short-circuit currents, a selection of power cables and switching equipment was made.

A special section of the work is devoted to the design of a system for automatic control of beer pasteurization temperature. For this purpose, a mathematical model of the facility was developed, the stability of the system was checked according to the Rous-Hurwitz criterion, and the optimal parameters of the PI controller were calculated in the MATLAB/Simulink environment.

Keywords: electrical power consumption system, electrical receiver, electrical load, power, electrical energy, automated control system.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

# ЗМІСТ

Стор.

|                                                                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Вступ.....                                                                                                                            |  |
| 1. Електричні навантаження.....                                                                                                       |  |
| 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (головної знижувальної підстанції)..... |  |
| 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....                              |  |
| 4. Компенсація реактивної потужності.....                                                                                             |  |
| 5. Трансформаторні підстанції.....                                                                                                    |  |
| 6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....           |  |
| 7. Спеціальний розділ роботи.....                                                                                                     |  |
| Висновки.....                                                                                                                         |  |
| Перелік посилань.....                                                                                                                 |  |
| Додатки.....                                                                                                                          |  |

|          |         |          |         |     |                                                                                                           |                      |       |         |  |  |
|----------|---------|----------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------|---------|--|--|
|          |         |          |         |     | Випускна кваліфікаційна робота                                                                            |                      |       |         |  |  |
| Зм.      | Арк.    | Недокум. | Підпис. | Дат |                                                                                                           |                      |       |         |  |  |
| Розроб.  | Міхлік  |          |         |     | Розроблення електротехнічної системи електроспоживання броварні продуктивністю 45 тис. гектолітрів на рік | Літ.                 | Аркуш | Аркушів |  |  |
| Перевір. | Котиш   |          |         |     |                                                                                                           |                      |       |         |  |  |
|          |         |          |         |     |                                                                                                           |                      |       |         |  |  |
| Н.контр. |         |          |         |     |                                                                                                           |                      |       |         |  |  |
| Затвер.  | Плешков |          |         |     |                                                                                                           |                      |       |         |  |  |
|          |         |          |         |     |                                                                                                           | ЦНТУ<br>гр. ЕЕ-23-мб |       |         |  |  |

## ВСТУП

Сучасне промислове пивоваріння є складним високотехнологічним процесом, який вимагає високого рівня надійності енергозабезпечення та бездоганної точності дотримання всіх технологічних режимів. Розрахунок електричних навантажень є фундаментом проєктування, управління та оновлення енергосистем підприємства. Точне оцінювання енергоспоживання гарантує стабільність мереж, дозволяє обґрунтовано вибирати потужність трансформаторів і резервного обладнання, а також створює міцну базу для стратегічного планування та модернізації інфраструктури browарні. Оскільки технологічне устаткування пивзаводів є надзвичайно чутливим до найменших коливань напруги, забезпечення безперервного та якісного електропостачання виступає критичною умовою для запобігання аварійним зупинкам і порушенням безперервного виробничого процесу.

Важливим етапом створення такої системи є техніко-економічне обґрунтування, яке дозволяє оптимізувати капітальні витрати, обрати найдоцільніші технічні рішення з мінімальними інвестиціями без зниження надійності, а також оцінити експлуатаційні витрати, що сприяє ефективній роботі підприємства.

Окрім надійного електричного живлення, ключову роль у виживанні бренду та збереженні стабільно високої якості напою відіграє комплексна автоматизація виробництва. Особливо це стосується таких критично важливих етапів, як пастеризація, головна мета якої — зупинити роботу дріжджів та знищити мікроорганізми, щоб пиво могло зберігатися місяцями. Під час пастеризації кінцевого продукту навіть незначне відхилення температури у  $0,5^{\circ}\text{C}$  може критично змінити результат: недогрів призведе до швидкого скисання партії, а перегрів — до появи неприємного "вареного" чи "хлібного" присмаку. Саме тому автоматизація цього процесу є не просто способом оптимізації, а обов'язковою умовою стабільності та безпеки кожної окремої партії пива.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

З огляду на вищезазначене, метою даної випускної кваліфікаційної роботи є розробка надійної, економічно доцільної та екологічно безпечної системи електропостачання сучасної броварні, а також проєктування ефективної системи автоматичного регулювання температури при пастеризації кінцевого продукту.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

## 1. Електричні навантаження

Розрахунок електричних навантажень — це фундамент проектування, управління та оновлення енергосистем. Точне оцінювання споживання гарантує стабільність мереж, дозволяє обґрунтовано вибирати потужність генераторів і резервного обладнання, а також створює базу для стратегічного планування та модернізації інфраструктури.

Розрахунки здійснюються згідно методики, викладеної у [1, 2].

### 1.1. Електричні силові навантаження в мережі підприємства до 1000В

Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M \quad (1.1)$$

$P_{cm}$  - середньозмінне активне навантаження;

$K_M$  - коефіцієнт максимуму навантаження.

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (1.2)$$

Ефективне число електроприймачів в групі (чи вузлі)  $n_e$  визначається:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n.\max}} \quad (1.3)$$

Для даної групи приймачів чи вузла навантаження:

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

$$Q_p = Q_{cm} \quad (1.4)$$

- при  $n_e > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} \quad (1.5)$$

- при  $n_e \leq 10$ ;

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.7)$$

Приклад розрахунку (для солодового цеху).

Використовуємо початкові дані.

$$m = \frac{P_{n.\max}}{P_{n.\min}} = \frac{16}{2} = 8$$

$$P_{cm} = P_{\text{сум}} K_u = 1155 \cdot 0.58 = 669,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi = 669,9 \cdot 0.88 = 590,8 \text{ кВар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n.\max}} = \frac{2 \cdot 1155}{16} = 144$$

Користуючись джерелами [1, 2] знаходимо коефіцієнт  $K_m$ . Для зазначених умов задачі він становить  $K_m = 1,070$ .

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 669,9 \cdot 1.07 = 714,59 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{cm} = 590,8 \text{ кВар}$$

Аналогічно виконуємо розрахунок також для інших цехів й підрозділів підприємства, як показано вище, а результати зводимо до таблиці Д 1.1. як і загальний результат розрахунку.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

## 1.2. Освітлювальні навантаження

Встановлена потужність освітлювальних приймачів броварні, (кВт):

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

Тобто, результат залежить від питомої потужності освітлювального навантаження ( $p_0$ ) та площі приміщень підприємства (цехів, відділень і т.д.) –  $F$ .

Розрахункове освітлювальне навантаження:

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.9)$$

$K_n$  - коефіцієнт попиту.

$K_p$  залежить також від типу світильника, які обираються до встановлення на підприємстві.

Приклад розрахунку (солодовий цех):

$$F = 2020 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 20 \text{ Вт / м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 2020 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 40,4 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 40,4 = 35,96 \text{ кВт}$$

Результати розрахунків для інших цехів подібні до показаного та зведені до таблиці Д 1.2.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

### 1.3. Електричні силові навантаження в мережі підприємства вище 1000В

Розрахунок ел. навантажень у зазначених мережах з напругою понад 1000 В виконується відповідно до рекомендацій, джерел [3, 4, 5]. При цьому обов'язковим моментом є врахування втрат у трансформаторах.

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k K_3^2) \quad (1.10)$$

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_n + \frac{U_k}{100} S_n K_3^2\right) \quad (1.11)$$

де  $n$  – кількість трансформаторів;

$\Delta P_x, \Delta P_k$  – втрати відповідно х.х і к.з., %;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

Підсумкові результати розрахунків силових й освітлювальних електричних навантажень в мережах напругою понад 1000 В системи наведено у таблиці Д 1.3.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

#### 1.4. Графіки електричних навантажень

Графіки електричних навантажень слугують інструментом візуального аналізу динаміки енергоспоживання у часі. Використання таких графіків вирішує низку стратегічних завдань:

- Керування піковими режимами: ідентифікація періодів максимального попиту для запобігання аварійним ситуаціям.
- Експлуатаційне планування: раціональний розподіл ресурсів обладнання та графіків ремонтів.
- Енергоаудит та прогнозування: пошук резервів економії та моделювання перспективного розвитку мережі на основі ретроспективних даних.
- Економічна оптимізація: мінімізація витрат шляхом узгодження циклів роботи підприємства з тарифними зонами.

У даному проекті розроблено добові графіки для зимового та літнього періодів (з диференціацією на робочі та вихідні дні), а також сформовано річний графік за тривалістю навантажень.

$$P(t), Q(t), S(t)$$

Графічне представлення електричних навантажень дозволяє оптимізувати роботу системи за технічними та економічними показниками. Це забезпечує точне прогнозування потреб, виявлення критичних точок споживання та планування сервісних робіт. Робота передбачає моделювання режимів електроспоживання для різних сезонів та типів днів, що завершується побудовою інтегрального річного графіка тривалості навантаження.

Споживання активної й реактивної електричної енергії в умовах навчального проектування визначається наступними виразами:

$$W_z = \sum P_i T_i \quad (1.12)$$

$$V_z = \sum Q_i T_i \quad (1.13)$$

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Час годин використання максимального навантаження та час найбільших втрат:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\Gamma}^2 + Q_{\Gamma}^2}}{P_p} \quad (1.14)$$

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 \quad (1.15)$$

Графіки електричних навантажень представлені на рис. 1.1. – 1.5.

Добовий графік нвантаження Р, Q (літні робочі дні)

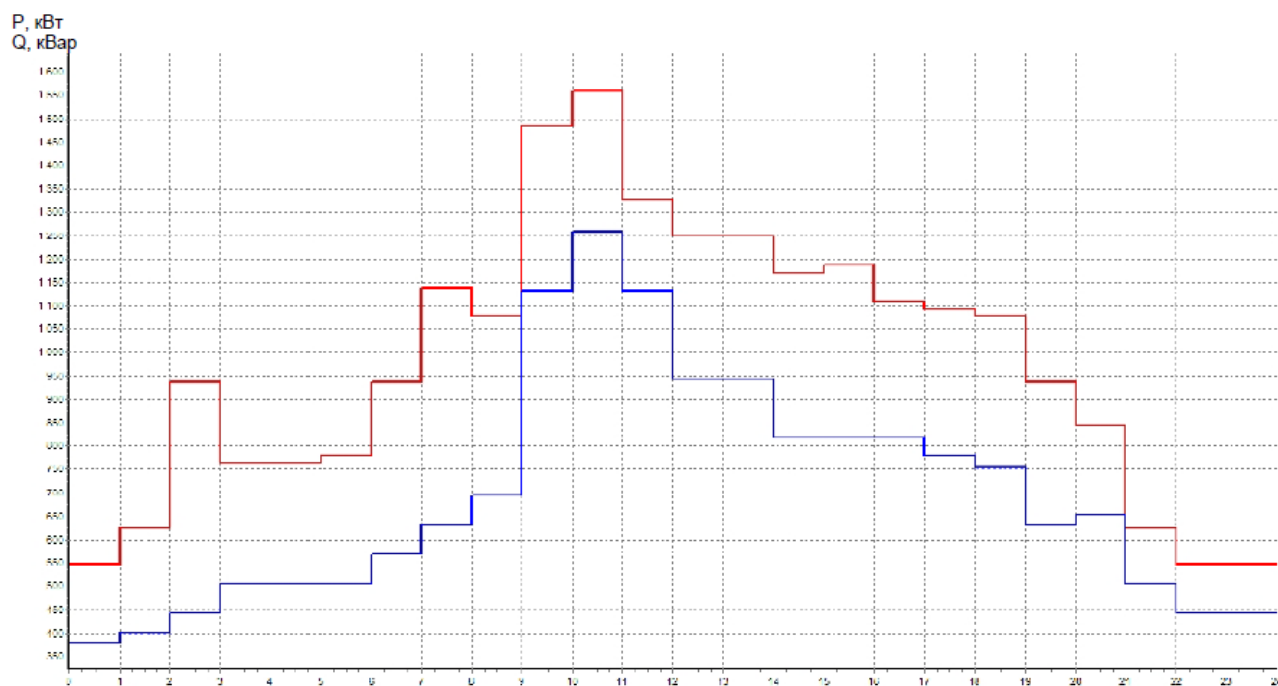


Рис. 1.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Добовий графік нвантаження P, Q (зимові робочі дні)

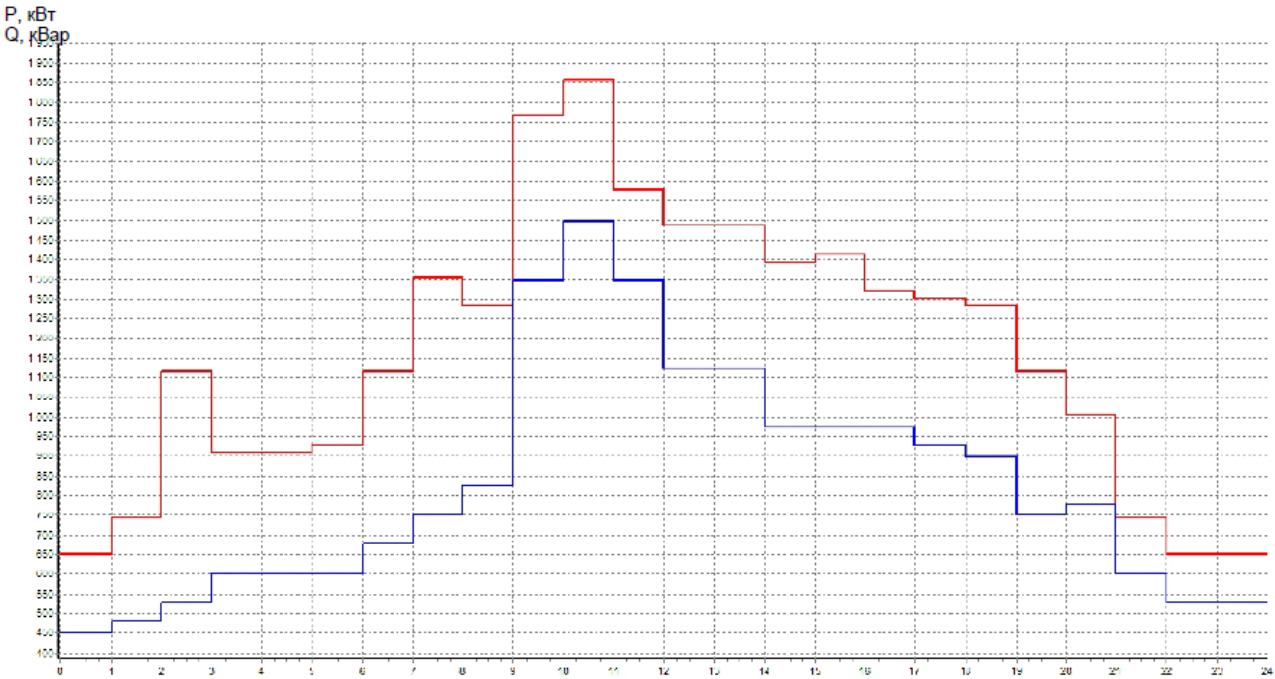


Рис. 1.2.

Добовий графік нвантаження P, Q (літні вихідні дні)

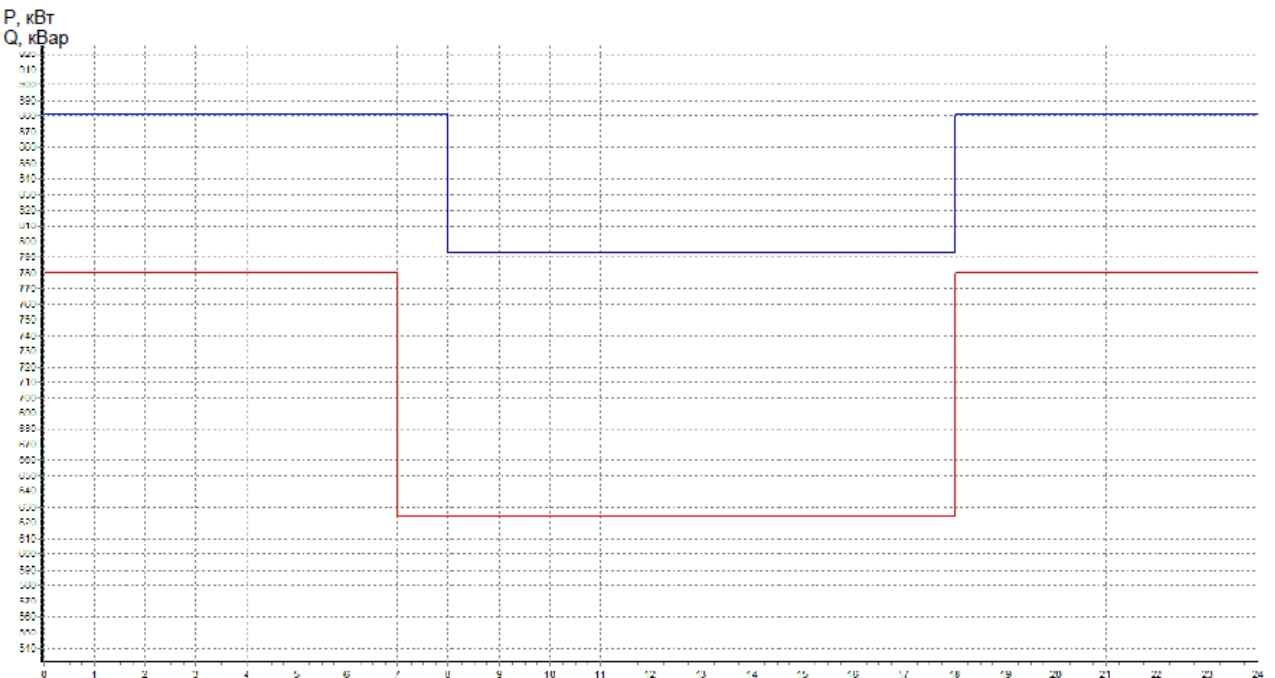


Рис. 1.3.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Добовий графік нвантаження P, Q (зимові вихідні дні)

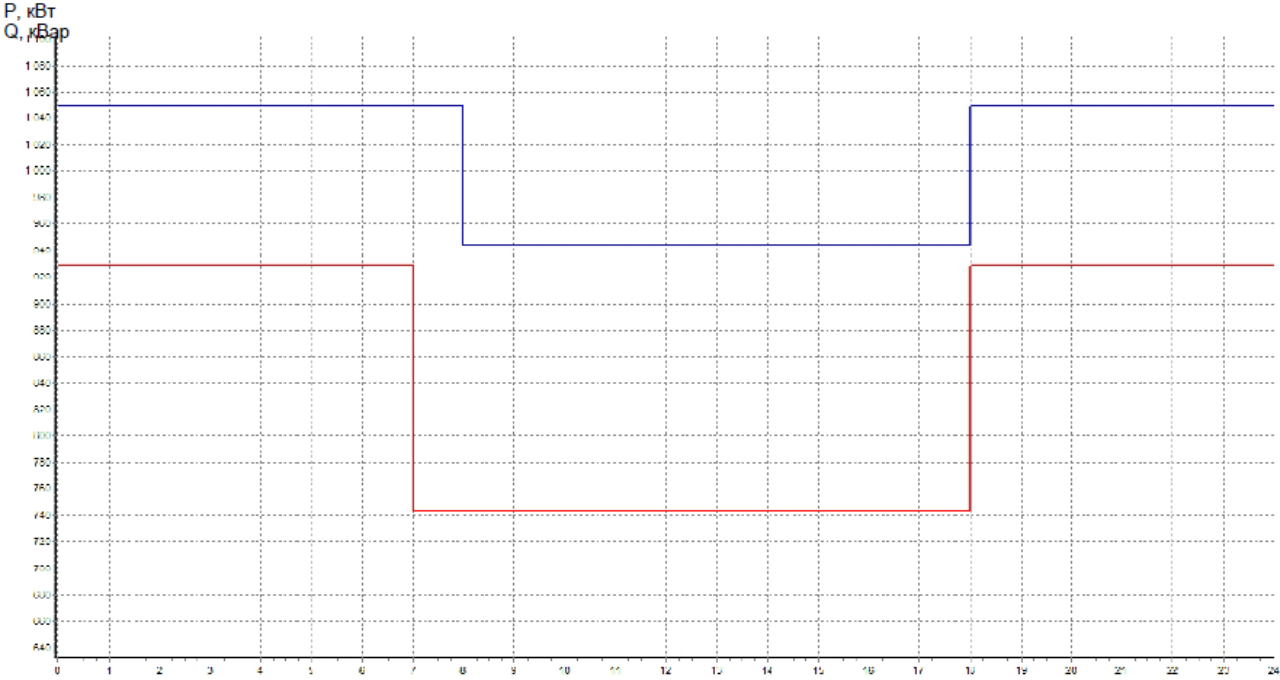


Рис. 1.4.

Річний графік P,Q за тривалістю

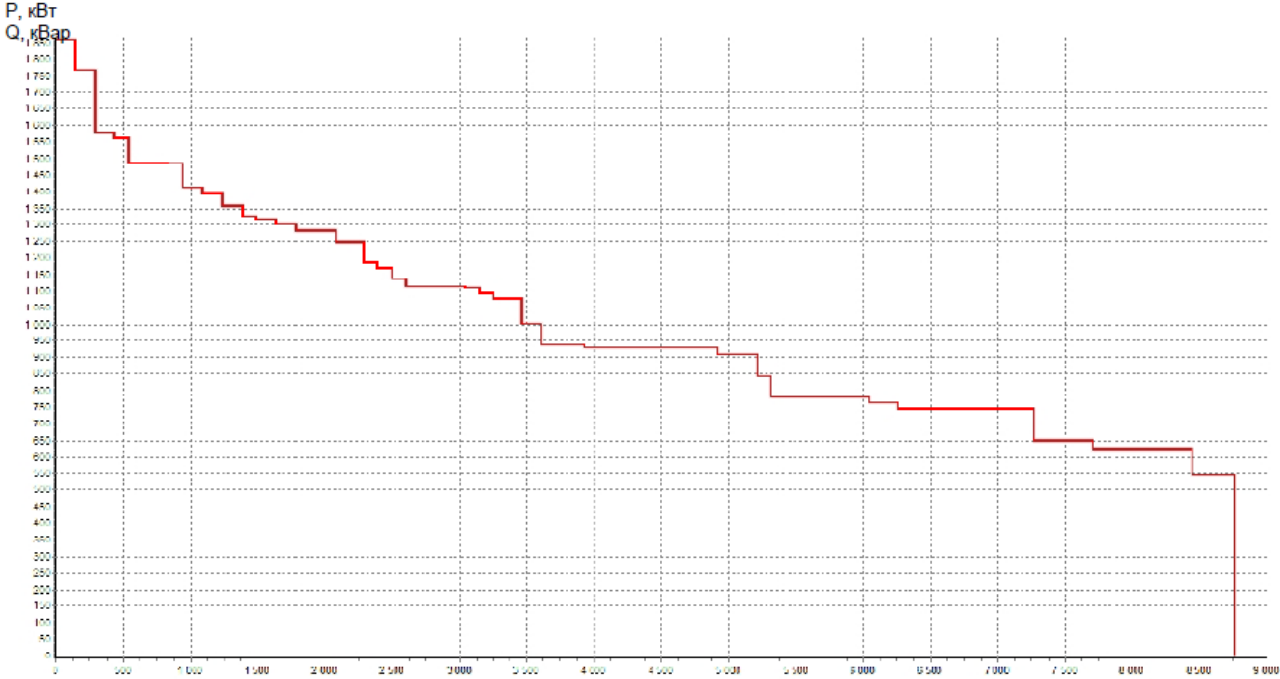


Рис. 1.5.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

## 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (ЦРП)

Картограма електричних навантажень являє собою графічну інтерпретацію територіального розміщення споживачів електроенергії на плані об'єкта чи регіону. Вона візуалізує структуру, величину та динаміку споживання, дозволяючи аналізувати навантаження у просторовому та часовому вимірах безпосередньо на схемі мережі.

Радіуси кіл -  $R_i$

Площа кола  $\pi R_i^2$  відповідає у певному масштабі розрахунковому навантаженню.

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (2.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (2.2)$$

$m$  – масштаб відповідного кол на діаграмі

Координати центру ел. навантажень, назовемо їх  $X$  та  $Y$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

Освітлювальне навантаження – то є кут  $\alpha$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (2.4)$$

Згідно описаної методики, для кожного окремого цеху (підрозділу) підприємства розраховуємо координати та кут  $\alpha$ .

Підсумок знаходиться в таблиці Д 2.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Отримані із попередніх розрахунків координати  $X_0$  та  $Y_0$  (див. додаток) вказують на центр електричних навантажень.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

### 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

Техніко-економічні розрахунки в електропостачанні мають ключове значення для обґрунтованого проєктування, експлуатації та розвитку електричних мереж і систем. Їхня користь та важливість полягає в такому:

Оптимізація капітальних витрат — дають змогу обрати найдоцільніші технічні рішення (тип обладнання, перерізи проводів, рівні напруги) з мінімальними інвестиційними затратами без зниження надійності.

Зниження експлуатаційних витрат — дозволяють оцінити втрати електроенергії, витрати на обслуговування та ремонт, що сприяє економічно ефективній експлуатації мереж.

Підвищення енергоефективності — допомагають визначити оптимальні режими роботи електрообладнання та зменшити технічні втрати в системі електропостачання.

Забезпечення надійності та якості електропостачання — сприяють вибору рішень, які гарантують безперебійне живлення споживачів і дотримання нормативних показників якості електроенергії.

Обґрунтування інвестиційних рішень — дозволяють порівнювати альтернативні варіанти розвитку мереж і обирати проєкти з найкращими техніко-економічними показниками.

Зменшення ризиків — допомагають завчасно виявити можливі технічні та фінансові ризики й мінімізувати їх наслідки.

Раціональне використання ресурсів — забезпечують ефективне використання матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів.

Отже, техніко-економічні розрахунки є необхідним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень в електропостачанні, що поєднують технічну доцільність і економічну ефективність.

У даній випускній кваліфікаційній роботі як можливе джерело електропостачання пивзаводу з розрахунковою потужністю навантаження

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

2064 кВА розглядається підстанція енергосистеми, оснащена двома трансформаторами номінальною потужністю по 1600 кВА та напругою 35/10 кВ. Відстань від підстанції до підприємства становить 2,30 км. У зв'язку з цим для дослідження системи зовнішнього електропостачання передбачено розгляд двох варіантів:

- а) при рівні напруги 35 кВ;
- б) при рівні напруги 10 кВ.

Вибір оптимального варіанта здійснюється на основі порівняльного аналізу сумарних витрат для кожного з запропонованих рішень.

Приведені витрати:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.і}} + Y_i \quad (3.1)$$

де  $E_n$  - коефіцієнт нормативний, 1/рік;

$K_i$  - капітальні підсумкові витрати у нашу схему, тис. грн.;

$C_i$  - поточні витрати, тис.грн./рік;

$C_{\text{втр.і}}$  - вартість втрат електричної енергії, тис.грн./рік;

$Y_i$  - ймовірнісний збиток від переривів в електропостачанні об'єкту, тис.грн/рік.

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} \quad (3.2)$$

$$C_{\text{втр}} = c_0 \Delta W \quad (3.3)$$

де  $C_0$  - вартість втрат однієї кВт·год електроенергії, (грн.)

$\Delta W$  - втрати електричної енергії в повітряних та кабельних лініях електропередач, кВт·год;

$$\Delta W = \Delta P_{\text{лкм}} I_{\Sigma}^2 K_3^2 \tau \quad (3.4)$$

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

де  $\Delta P_{1KM} - l_{\Sigma} - K_3 - \tau$  – відповідно питомі втрати активної потужності на 1 км довжини; сумарна довжина ліній електропередачі, км; коефіцієнт завантаження зазначених ліній; кількість годин максимальних річних втрат.

Втрати електричної енергії в трансформаторах:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_K K_3^2 \tau \quad (3.5)$$

Збитки визначаються наступним чином:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6)$$

де  $\lambda_i$  – параметр потоку відмов одного із елементів дослідної системи електроспоживання застосованих у проектуванні, 1/рік;

$n$  – кількість застосованих елементів у колі схеми.

Середній час відновлення однієї лінії (годин) (ланцюга схеми):

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} \quad (3.7)$$

Загальну методику розрахунку надійності, використану в даній роботі, наведено в джерелі [6]. На її основі здійснюється техніко-економічне зіставлення двох варіантів схем зовнішнього електроспоживання (варіанти а) та б)), які зображені на рис. 3.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

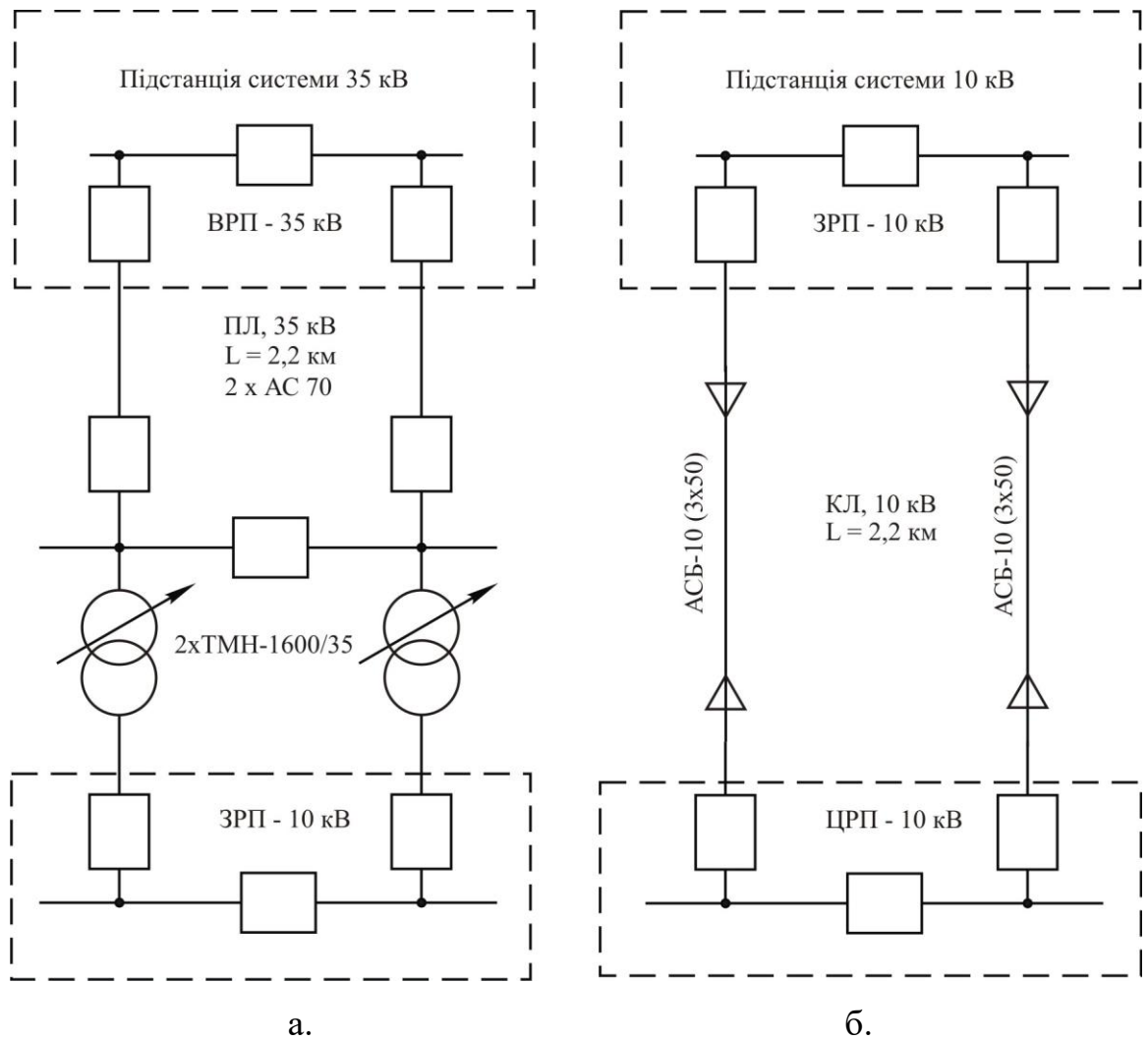


Рис. 3.1. Можливі схеми зовнішнього електропостачання броварні

Розрахунки по I варіанту

### Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

| №<br>вар. | Назва елемента схеми    | Оди-<br>ниця | Кількість | Вартість | Всього |
|-----------|-------------------------|--------------|-----------|----------|--------|
| 1         | ЛЕП 35 кВ на з/б опорах | км           | 2,3       | 264      | 607,2  |
|           | БРП 35 кВ               | шт.          | 1         | 120      | 120    |
|           | 2 x ТМН-1600/35         | шт.          | 2         | 800      | 1600   |
| Всього    |                         |              |           |          | 2327,2 |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

### ***Розрахунок поточних витрат***

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

| <i>№<br/>вар</i> | <i>Назва елемента схеми</i> | <i>K<sub>j</sub>,<br/>тис.грн.</i> | <i>P<sub>aj</sub>,<br/>%</i> | <i>C<sub>aj</sub>,<br/>тис.грн.</i> | <i>P<sub>эj</sub>,<br/>%</i> | <i>C<sub>aj</sub>,<br/>тис.грн.</i> | <i>C<sub>j</sub>,<br/>тис.грн.</i> |
|------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1                | ЛЕП 35 кВ на з/б опорах     | 607,2                              | 5                            | 30,36                               | 5                            | 30,36                               | 60,72                              |
|                  | ВРП 35 кВ                   | 120                                | 15                           | 18                                  | 5                            | 6                                   | 24                                 |
|                  | 2 х ТМН-1600/35             | 1600                               | 15                           | 240                                 | 5                            | 80                                  | 320                                |
| <i>Всього</i>    |                             |                                    |                              |                                     |                              |                                     | 404,72                             |

### ***Розрахунок збитку від перерви електропостачання***

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 21 \cdot 1,13 \cdot 0,01785 = 0,42$$

Розрахунки по II варіанту

### ***Розрахунок капітальних вкладень***

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

| <i>№<br/>вар.</i> | <i>Назва елемента схеми</i> | <i>Оди-<br/>ниця</i> | <i>Кількість</i> | <i>Вартість</i> | <i>Всього</i> |
|-------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|-----------------|---------------|
| 2                 | КЛ 10 кВ                    | км                   | 4,6              | 140             | 644           |
|                   | Траншея                     | км.                  | 2,3              | 15,3            | 35,19         |
|                   | Шафи КРП серії КУ-10        | шт.                  | 2                | 15,7            | 31,4          |
| <i>Всього</i>     |                             |                      |                  |                 | 710,59        |

### ***Розрахунок поточних витрат***

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

| <i>№<br/>вар</i> | <i>Назва елемента схеми</i> | <i>K<sub>j</sub>,<br/>тис.грн.</i> | <i>P<sub>aj</sub>,<br/>%</i> | <i>C<sub>aj</sub>,<br/>тис.грн.</i> | <i>P<sub>эj</sub>,<br/>%</i> | <i>C<sub>aj</sub>,<br/>тис.грн.</i> | <i>C<sub>j</sub>,<br/>тис.грн.</i> |
|------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 2                | КЛ 10 кВ                    | 644                                | 5                            | 32,2                                | 5                            | 32,2                                | 64,4                               |
|                  | Траншея                     | 35,19                              | 5                            | 1,7595                              | 5                            | 1,7595                              | 3,519                              |
|                  | Шафи КРП серії КУ-10        | 31,4                               | 15                           | 4,71                                | 5                            | 1,57                                | 6,28                               |
| <i>Всього</i>    |                             |                                    |                              |                                     |                              |                                     | 74,199                             |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

***Розрахунок збитку від перерви електропостачання***

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 25 \cdot 1,13 \cdot 0,00949 = 0,27$$

Результати розрахунку заносимо у підсумкову таблицю 3.5.

Таблиця 3.5. Техніко – економічні показники розглянутих схем

| Показники                     | Варіанти (тис. грн) |        |
|-------------------------------|---------------------|--------|
|                               | I                   | II     |
| Капітальні вкладення          | 2327,2              | 710,59 |
| Поточні витрати               | 404,72              | 74,2   |
| Вартість втрат електроенергії | 784,35              | 439,6  |
| Збиток                        | 0,42                | 0,27   |
| Приведені витрати             | 1468,75             | 599,34 |

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

#### 4. Компенсация реактивной мощности

Проведемо розрахунок балансу активної та реактивної потужності.

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 2032 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 1586 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 27,92 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 206,1 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon = 2032 + 27,92 + 0 = 2059,92 \text{ кВт}$$
$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon = 1586 + 206,1 + 0 = 1792,1 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 2059,92 \cdot 0,15 = 308,99 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 1792,1 - 308,99 = 1483,11 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{2032}{0,645 \cdot 630} = 5 \approx 5 \text{ шт.}$$

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Далі розглядатимуться варіанти при кількості трансформаторів  
 $N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$

1-й Варіант  $N = N_0 = 5$  тр-рів

Реактивна потужність, передавана із мережі 10 кВ в мережу до 1 кВ при встановленні кількості  $N$  трансформаторів:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_p^2}$$

$$Q_1 = 84,32 \text{ квар}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_1$$

$$Q_{KH} = 1500,7 \text{ квар}$$

$$Q_{KB} = Q_H - Q_{KH} - Q_{\Sigma}$$

$$Q_{KB} = -18,5 \text{ квар (тобто 0)}.$$

Розрахунок інших варіантів  $N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$  виконується аналогічно вказаному.

Результати розрахунків наведено у таблиці Д 4.1.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 866 = 3,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 600 = 1,8 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності ( $P$ ) при передачі через трансформатори власне реактивної потужності:

$$\Delta P_{ПТ} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{2030^2 + 84,31^2}{10^2} \cdot 0,33 \cdot 0,001 = 13,62 \text{ кВт}$$

$$R_{KB} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{5 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,33 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ (грн.):

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = 2 \cdot 3,67 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 5,32 = 26,18 \text{ тис.грн.}$$

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KBi} = 4 \cdot 10,07 = 40,28 \text{ тис.грн.}$$

Вартість комплектних ТП:

$$\begin{aligned} K_{КТП} &= N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = \\ &= 2 \cdot 638 + 1 \cdot 337,5 = 1613,5 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Тоді

$$\begin{aligned} Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\ &= 0,12 \cdot (26,18 + 40,28 + 1613,5) + 8,62 \cdot 3138 \cdot (3,9 + 1,8 + 13,62) \cdot 10^{-3} = \\ &= 724,19 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Розрахунок 2-го та 3-го варіантів виконується аналогічно, показаному вище. Результати наведено у додатку, таблиця Д 4.2.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

## 5. Трансформаторні підстанції

Цехові трансформаторні підстанції броварень характеризуються рядом специфічних рис, що визначаються підвищеними вимогами до надійності електропостачання та особливостями технології пивоваріння. Функціонування таких підстанцій має забезпечувати виконання кількох ключових завдань.

По-перше, важливим є забезпечення стабільного та надійного електроживлення. Технологічне обладнання пивзаводів чутливе до коливань напруги, тому безперервне та якісне електропостачання є необхідною умовою запобігання аварійним зупинкам і порушенням виробничого процесу.

По-друге, цехові підстанції повинні відзначатися гнучкістю режимів роботи. Зміна етапів технологічного циклу супроводжується коливаннями електричних навантажень, що вимагає здатності підстанцій ефективно працювати як у періоди максимального, так і зниженого споживання електроенергії.

По-третє, значну роль відіграє раціоналізація енергоспоживання. Застосування сучасних систем керування та обліку електроенергії дає змогу контролювати витрати та реалізовувати заходи з підвищення енергоефективності, що позитивно впливає на економічні показники підприємства.

Крім того, для підвищення надійності та рівня безпеки цехові трансформаторні підстанції оснащуються засобами автоматизованого моніторингу, контролю й діагностики. Це забезпечує своєчасне виявлення несправностей і сприяє оперативному технічному обслуговуванню.

Окрему увагу приділяють відповідності екологічним вимогам. Сучасні рішення в електропостачанні пивзаводів спрямовані на зменшення негативного впливу на довкілля шляхом підвищення енергоефективності

та застосування технологій, що скорочують споживання ресурсів і шкідливі викиди.

Загалом зазначені особливості забезпечують надійне, економічно доцільне та екологічно безпечне електропостачання, необхідне для безперервної роботи виробничих процесів на броварнях.

Обрана потужність цехових трансформатрів ще обов'язково має перевіряється щодо їхнього аварійного перевантаження

$$S_{\text{доп}} = 1,4 S_{\text{ном}} \geq S_{\text{ав}} \quad (5.1)$$

Вибрані в роботі цехові трансформаторні підстанції представлені у додатку (таблиця Д 5.1.)

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

## **6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання**

### **6.1. Розрахунок струмів коротких замикань**

Розрахунок струмів короткого замикання виконують для визначення найбільшої можливості величини струму, що може виникнути в електричній системі за аварійних режимів роботи. Проведення таких розрахунків необхідне з таких причин:

- Забезпечення безпеки персоналу та обладнання, оскільки знання рівнів струмів КЗ дає змогу спроектувати ефективну та надійну систему захисту.
- Коректний вибір і налаштування апаратів захисту (автоматичних вимикачів, релейного захисту, запобіжників), які повинні своєчасно та селективно відключати пошкоджену ділянку мережі.
- Оцінка вимог до ізоляції та механічної міцності елементів електромережі, що дозволяє запобігти їх руйнуванню під дією аварійних струмів.
- Розроблення заходів з аварійного відключення та мінімізації наслідків пошкоджень в електроенергетичній системі.

Для виконання розрахунків спочатку складають однолінійну схему, на якій відображають усі джерела живлення, що беруть участь у живленні точки короткого замикання, а також всі елементи системи електропостачання (трансформатори, лінії електропередач, реактори тощо), розташовані між джерелами та місцем виникнення КЗ.

Далі на основі цієї схеми формують схему заміщення, у якій реальні елементи мережі замінюють еквівалентними опорами та індуктивностями, приведеними до базових параметрів.

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Зазвичай у процесі розрахунку визначають такі основні величини, як періодичну складову струму короткого замикання (6.1) та ударний струм КЗ (6.2).

$$I_{п0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PE3}}, \quad (6.1)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left( 1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right), \quad (6.2)$$

$$T_a = \frac{X_{PE3}}{\omega I''_{PE3}}, \quad (6.3)$$

де

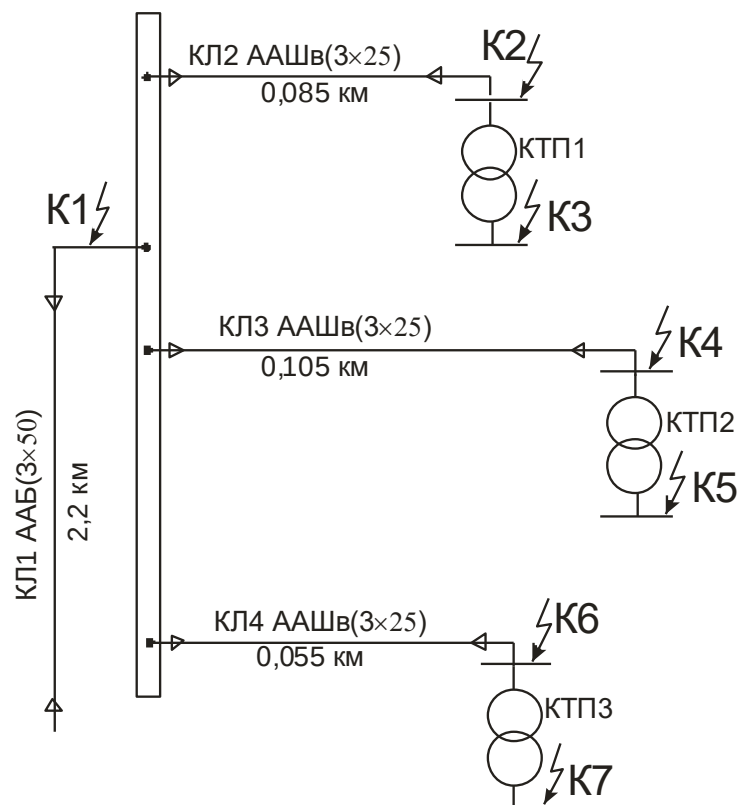


Рис.6.1. Розрахункова схема електричної мережі

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

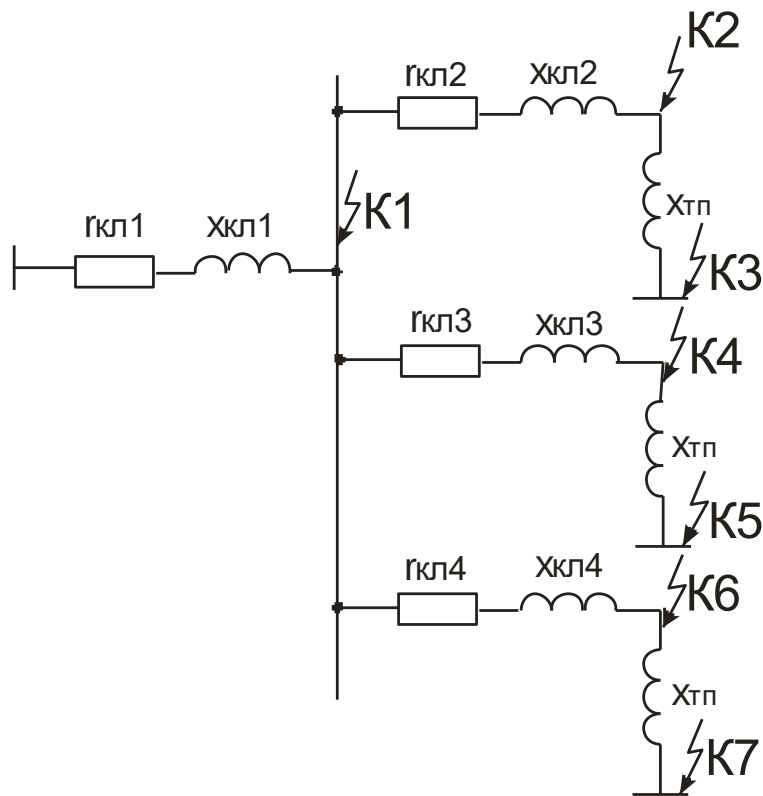


Рис.6.2. Схема заміщення електричної мережі

Розрахунок струмів КЗ здійснюємо за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel.

Щодо результатів розрахунку – див. таблиці Д 6.1.

## 6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибираємо марку та переріз жил кабелів згідно джерела літературного [10] за економічною густиною струму.

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (6.4)$$

де  $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$

Перевіряємо кабелі за наступними умовами:

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

$$1. I_{роб.форс.} \leq I_{доп} \quad (6.5)$$

$$2. F_{min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (6.6)$$

$$C = 91 A \cdot c^{1/2} / \text{мм}^2$$

Наводимо приклад (розрахунок для КЛ-3).

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{931,2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 27 A$$

$$F = \frac{27}{1,4} = 19,3 \text{ мм}^2$$

Вибраний кабель ААШв-10 (3×25), у котрого I<sub>доп</sub>=90,00 А.

Перевірка за умовами:

$$1. 27,0 < 90,00$$

$$2. F_{min} = \frac{\sqrt{2810^2 \cdot 1,565}}{91} = 38,4$$

Таким чином, даний обраний кабель не задовольняє умові 2. Тому обираємо інший - ААШв-10 (3×50), у якого I<sub>доп</sub>=134,00 А.

Щодо результатів розрахунку – див. таблиці Д 6.2.

### 6.3. Вибір електричного обладнання

*Комутаційні апарати (вимикачі)*

Вибір вимикачів здійснюється за умовами:

$$\text{Напруга} \quad U_{вст} \leq U_{ном} \quad (6.7)$$

$$\text{Струм} \quad I_{ном} \leq I_{ном}; I_{роб.форс} \leq I_{ном} \quad (6.8)$$

$$I_{п.т} \leq I_{відк.ном} \quad (6.9)$$

$$\text{Здатність ідключення} \quad i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot I_{відк.ном} \cdot (1 + \beta_n) \quad (6.10)$$

$$\text{Ударний струм} \quad i_y \leq i_{вкл}; I_{п.о.} \leq I_{вкл} \quad (6.11)$$

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Термічною стійкістю

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер} \quad (6.12)$$

На ЦРП броварні, приймаємо до застосування комірки розподільчі КРП - тип КУ-10Ц, які випускаються у комплекті з вакуумними вимикачами ВР-1.

Щодо результатів розрахунку – див. таблиці Д 6.3.

#### *Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП)*

Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП) здійснюється з урахуванням сукупності технічних, експлуатаційних та економічних умов. Основні з них такі:

##### 1. За потужністю

Номінальна потужність трансформатора повинна забезпечувати живлення всіх споживачів власних потреб у нормальному, ремонтному та аварійному режимах з урахуванням коефіцієнтів одночасності, попиту та можливого резерву.

##### 2. За напругою

Номінальні напруги з боку вищої та нижчої сторін мають відповідати рівням напруги мережі живлення та мережі власних потреб (зазвичай 0,4 кВ або 0,69 кВ).

##### 3. За кількістю та схемою резервування

Для відповідальних споживачів власних потреб передбачається встановлення двох і більше трансформаторів із взаємним резервуванням, що забезпечує безперервність електропостачання при виході з ладу одного з них.

##### 4. За режимами роботи

Трансформатор повинен надійно працювати в тривалому, короткочасному та аварійному режимах, витримувати перевантаження, пускові струми електродвигунів і струми короткого замикання.

##### 5. За надійністю та строком служби

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Трансформатор повинен відповідати вимогам нормативних документів, мати необхідний клас ізоляції, достатній ресурс роботи та можливість технічного обслуговування.

Таким чином, вибір трансформаторів власних потреб ґрунтується на забезпеченні надійного, безпечного та економічно доцільного електропостачання допоміжних споживачів електроустановки.

Розрахункове навантаження ТВП:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встp}^2 + Q_{встp}^2)}, \quad (6.16)$$

$K_C = 0,80$  - коефіцієнт попиту

Умовою вибору повної потужності ТВП є така:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} \quad (6.17)$$

Споживачі власних потреб споживають наступну потужність:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встp}^2 + Q_{встp}^2)} = 0,8 \cdot \sqrt{17^2 + 0^2} = 16 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{16}{1,4} = 11,4 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

Обираємо для ЦРП трансформатор ВП ТМЗ – 25/10 із наступними параметрами:

$$S_{ном} = 25,0 \text{ кВА}, U_{вн} = 10 \text{ кВ}, U_{нн} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$K_3 = \frac{S_{роз}}{S_{ном}} = \frac{16}{25} = 0,64.$$

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Таблиця 6.1. Навантаження власних потреб на ЦРП броварні

| № п/п         | Споживач                                         | Потужність,<br>кВт |
|---------------|--------------------------------------------------|--------------------|
| 1             | Обігрів комірок КРП 10 кВ.                       | 8×1                |
| 2             | Освітлення, опалення і вентиляція приміщення ЗРУ | 10                 |
| 3             | Навантаження яке споживають оперативні кола      | 2,0                |
| <i>Всього</i> |                                                  | 20                 |

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

## 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ПАСТЕРИЗАЦІЇ КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ

### 7.1. Основні методи та особливості пастеризації

Пастеризація — це критично важливий етап для промислового пивоваріння. Її головна мета — зупинити роботу залишків дріжджів та знищити мікроорганізми, щоб пиво могло зберігатися місяцями, а не тижнями. Ось як цей процес виглядає на практиці:

Існує два основних способи, які обирають залежно від обсягів виробництва та типу пакування.

#### *1. Тунельна пастеризація*

Це класичний метод для пива у пляшках та бляшанках.

Процес: Наповнені та закриті пляшки рухаються конвеєром через довгий тунель.

Температурні зони: Пиво поступово зрошується водою різних температур. Спочатку воно нагрівається, потім витримується при піковій температурі (зазвичай 60–62°C) протягом 15–20 хвилин, а наприкінці — поступово охолоджується.

Плюс: Гарантує стерильність не лише напою, а й внутрішньої поверхні кришки та тари.

#### *2. Поточкова (флеш) пастеризація*

Цей метод використовується перед розливом пива у кеги або перед асептичним розливом у пляшки.

Процес: Пиво проходить через пластинчастий теплообмінник тонким шаром.

Швидкість: Напій нагрівається до вищої температури (71–74°C), але на дуже короткий час — буквально на 15–30 секунд.

Плюс: Менший термічний вплив на смак пива порівняно з тунельним методом та значна економія енергії.

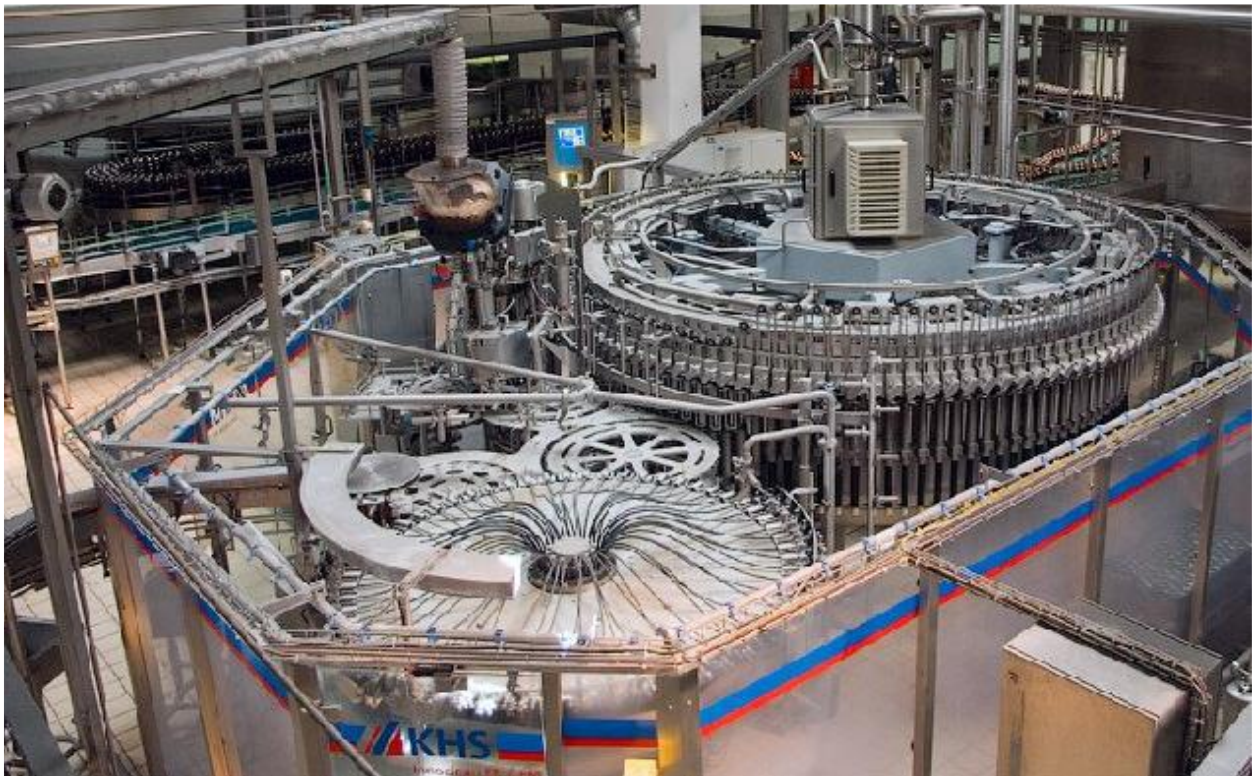


Рис. 7.1. Розливний апарат пива до пляшок на заводі

Пивовари вимірюють ефективність процесу в PU (Pasteurization Units). Одина одиниця пастеризації (1 PU) — це вплив на мікроорганізми при температурі 60° С протягом однієї хвилини.

Формула розрахунку виглядає так:

$$PU = t \times 1,393^{(T-60)}$$

Де:

t — час у хвилинах.

T — температура в градусах Цельсія.

Зазвичай для світлого лагера потрібно від 10 до 30 PU. Якщо дати забагато — пиво набуде неприємного "хлібного" або "вареного" присмаку.

Різниця в термінах придатності між пастеризованим («баночним/магазинним») та непастеризованим («живим») пивом — це фактично битва між стабільністю та свіжістю.

Ось як це виглядає у цифрах та фактах:

Табл. 7.1. Порівняння термінів придатності пива

| Тип пива                  | Термін придатності                           | Умови зберігання                    |
|---------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Пастеризоване</b>      | від 6 до 12 місяців (іноді до 2 років)       | Кімнатна температура (до +25°C)     |
| <b>Непастеризоване</b>    | від 3 до 30 днів (у середньому 7–14 днів)    | Тільки в холодильнику (+2...+7°C)   |
| <b>Крафтове (непаст.)</b> | до 3–4 місяців (завдяки хмелю та фільтрації) | Тільки в холоді, без доступу світла |

Чому така велика різниця?

#### 1. Біологічна активність

У непастеризованому пиві залишаються живі клітини дріжджів. Навіть після розливу вони продовжують повільно працювати. Якщо таке пиво залишити в теплі, дріжджі активізуються, смак швидко зіпсується (з'явиться кислинка або присмак дріжджів), а пляшка може навіть вибухнути від надлишку вуглекислого газу. Пастеризація «вбиває» дріжджі та бактерії, роблячи напій біологічно інертним.

#### 2. Окислення (Старіння)

Пастеризація прискорює хімічні реакції. Висока температура під час процесу провокує швидше окислення сполук хмелю.

- Пастеризоване пиво старіє «плавно».
- Непастеризоване пиво «живе» своїм життям, але будь-яка зміна температури для нього — це стрес, що ментально вбиває тонкий аромат хмелю.

#### 3. Роль хмелю та алкоголю

Деяке міцне крафтове пиво (наприклад, Імперські стаути або Барлівайни) може зберігатися роками без пастеризації. Тут роль консервантів виконують:

- Високий вміст алкоголю (8% і вище).
- Велика кількість хмелю (природний антисептик).

- Кислотність (pH).

## 7.2. Основні переваги та особливості процесу автоматизації пастеризації пива

Автоматизація пастеризації — це не просто «модна фішка» чи спосіб скоротити персонал підприємства. У пивоварінні це питання виживання бренду та стабільності кожної окремої партії. Навіть відхилення у 0,5°C може критично змінити результат.

Ось головні причини, чому автоматизація є обов'язковим моментом цього процесу:

### 1. Точність розрахунку PU (Pasteurization Units)

Як ми вже згадували, пастеризація залежить від балансу часу та температури.

- Проблема: Якщо температура впаде нижче цільової, пиво може скиснути через тиждень. Якщо підніметься на 1-2 градуси вище — з'явиться «смак картону» або «вареного зерна».

- Рішення: Автоматика в реальному часі вираховує \$PU\$ за формулою. Якщо датчик фіксує падіння температури, система автоматично сповільнює конвеєр (у тунелі) або збільшує подачу пари (у потоці), щоб компенсувати недогрів.

### 2. Безпека та запобігання аваріям

Пиво — це напій під тиском (CO<sub>2</sub>). При нагріванні тиск усередині пляшки чи банки зростає експоненціально.

- Автоматичний контроль: Система стежить за тиском у секціях. Якщо пляшка вибухає, автоматика повинна миттєво зреагувати на можливе засмічення конвеєра або зміну теплообміну в цій зоні.

- Плавність: Тільки автоматика може забезпечити ідеально плавні переходи між зонами нагріву та охолодження, щоб скло не тріснуло від «термічного шоку».

### 3. Енергоефективність (Рекуперація)

Автоматизовані пастеризатори використовують системи рекуперації тепла.

- Енергія, яка забирається від гарячого пива під час його охолодження, використовується для підігріву холодної води, що йде на початкові етапи.
- Без комп'ютерного керування клапанами та насосами налаштувати такий циклічний теплообмін з високим ККД неможливо.

#### 4. Документація та "Харчовий слід"

Згідно з міжнародними стандартами (наприклад, НАССР), виробник повинен мати підтвердження, що кожна партія пройшла належну термічну обробку.

- Звіти: Автоматика веде цифровий лог. Якщо через місяць клієнт поскаржиться на зіпсоване пиво, технолог може відкрити архів за конкретну дату і хвилину, щоб побачити графік температур.

У систему автоматизації як правило входить

1. Програмовані логічні контролери (ПЛК/PLC): "Мозок" системи.
2. Частотні перетворювачі: Керують швидкістю насосів та конвеєрів.
3. Високоточні датчики (Pt 100): Вимірюють температуру з точністю до 0,1° C.
4. SCADA-система: Інтерфейс, де оператор бачить весь процес у вигляді анімованої схеми.

Для контролю температури всередині тари під час руху конвеєром (особливо в тунельних пастеризаторах) використовують спеціальні пристрої, які називаються логгерами даних (Data Loggers).

Оскільки пастеризатор — це закритий "тунель" з гарячою водою і паром, звичайний датчик з дротом туди не просунеш. Ось як вирішують це завдання:

1. Автономні температурні логгери (Puck Loggers).

Це невеликі герметичні пристрої з нержавіючої сталі, які за формою нагадують шайбу або флешку.

- Логгер кріпиться безпосередньо до пляшки або банки, а його тонкий щуп (термопара) вводиться всередину через спеціальний герметичний ущільнювач у кришці.

- Пристрій проходить через весь тунель разом із партією пива, записуючи температуру кожні кілька секунд.

- На виході інженер підключає логгер до комп'ютера і бачить точний графік РU, який отримало пиво саме всередині пляшки (у такій званій "холодній точці" — зазвичай це 1-2 см від дна).

## 2. Датчики Pt100 (Платинові терморезистори).

У потокових (флеш) пастеризаторах, де пиво біжить по трубах, використовують стаціонарні датчики Pt100.

- Вони вважаються золотим стандартом у харчовій промисловості через свою стабільність. Платина змінює свій електричний опір залежно від температури дуже лінійно і передбачувано.

- Вони дозволяють тримати похибку в межах  $0.1^{\circ}\text{C}$ .

## 3. Радіодатчики реального часу (Telemetry System)

Це просунута версія логгерів.

- Особливість: Вони не просто записують дані, а передають їх через радіоканал на пульт оператора в режимі реального часу.

- Перевага: Якщо в середині тунелю стався стрибок температури, оператор бачить це миттєво, не чекаючи, поки пляшка вийде з іншого кінця конвеєра через 40 хвилин.

При автоматизації важливо, щоб датчик вимірював температуру в найхолоднішій точці тари.

- У пляшці, що стоїть вертикально, це зона приблизно на  $1/4$  висоти від дна.

- Якщо датчик зміститься вище (де пиво швидше прогрівається), система "подумає", що пастеризація завершена, хоча на дні бактерії могли вижити.

Автоматизація також дозволяє відстежувати тиск всередині тари, щоб уникнути деформації банок.

Це надзвичайно делікатний процес, адже алюмінієва банка — це, по суті, тонкий металевий "папір". Якщо всередині банки тиск зросте швидше, ніж зовні, її розірве. Якщо навпаки — її просто розчавить зовнішнім тиском води.

Ось як автоматика тримає цей баланс:

Концепція "Протитиску" (Overpressure).

Коли пиво нагрівається до 62°C, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) починає інтенсивно виходити з рідини в порожній простір під кришкою. Це створює величезний внутрішній тиск.

Як працює автоматична система регулювання:

1. Синхронізація температурних зон: Тунель розділений на 5–10 зон. Автоматика стежить, щоб перехід між ними був плавним (наприклад, не більше 10°C різниці між сусідніми зонами). Це дає металу час на поступове розширення.

2. Гідростатичний контроль: У деяких типах пастеризаторів створюється зовнішній тиск води або повітря, який "стискає" банку зовні, врівноважуючи тиск зсередини.

3. Контроль "дзеркала" води: Автоматика за допомогою ультразвукових датчиків регулює рівень води в розбризкувачах. Потік має бути таким, щоб забезпечити теплообмін, але не створити механічного удару по банці.

Що станеться, якщо автоматика дасть збій?

- Ефект "Кривого дна": Якщо охолодження відбудеться занадто різко, тиск всередині впаде швидше, ніж зовсім зникне термічне розширення металу. Дно банки може деформуватися всередину (увігнутися).

- "Бомбаж": При недостатньому зовнішньому тиску під час нагріву банку роздуває, вона втрачає стійкість і починає "танцювати" на конвеєрі, спричиняючи затори.

Дуже важливий момент для бізнесу?

Сучасна лінія розливу видає від 30,000 до 120,000 банок на годину.

- Без автоматизації навіть 1% браку через тиск — це тисячі літрів втраченого пива щогодини.

- Автоматика дозволяє використовувати мінімально можливу товщину алюмінію, що економить мільйони на закупівлі тари.

Із технічних засобів для вимірювання, регулюючих органів та виконавчих механізмів слід обрати наступні.



Рис. 7.2. – Вимірювальний перетворювач тиску

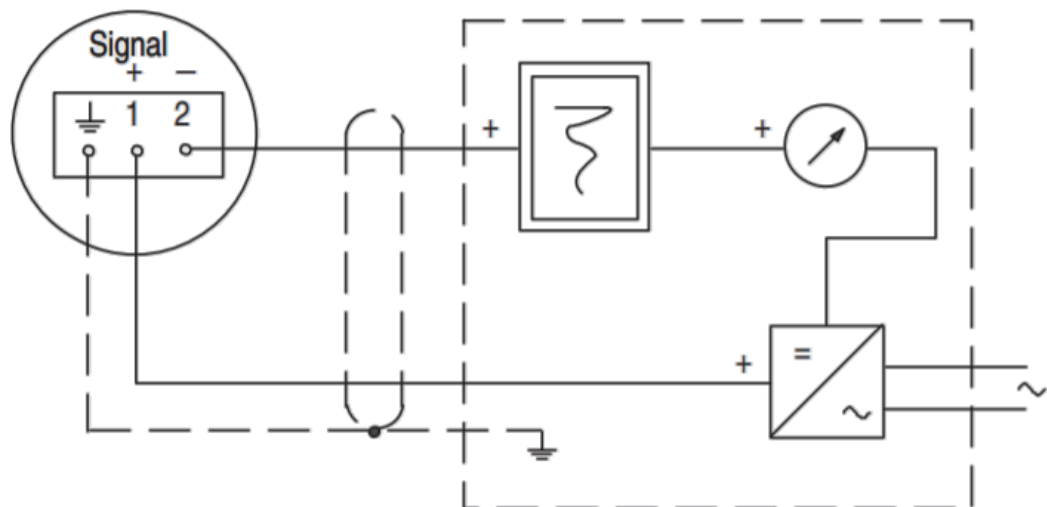


Рис. 7.3. Схема з'єднання перетворювача тиску



Рис. 7.4. Датчик термометр опору .

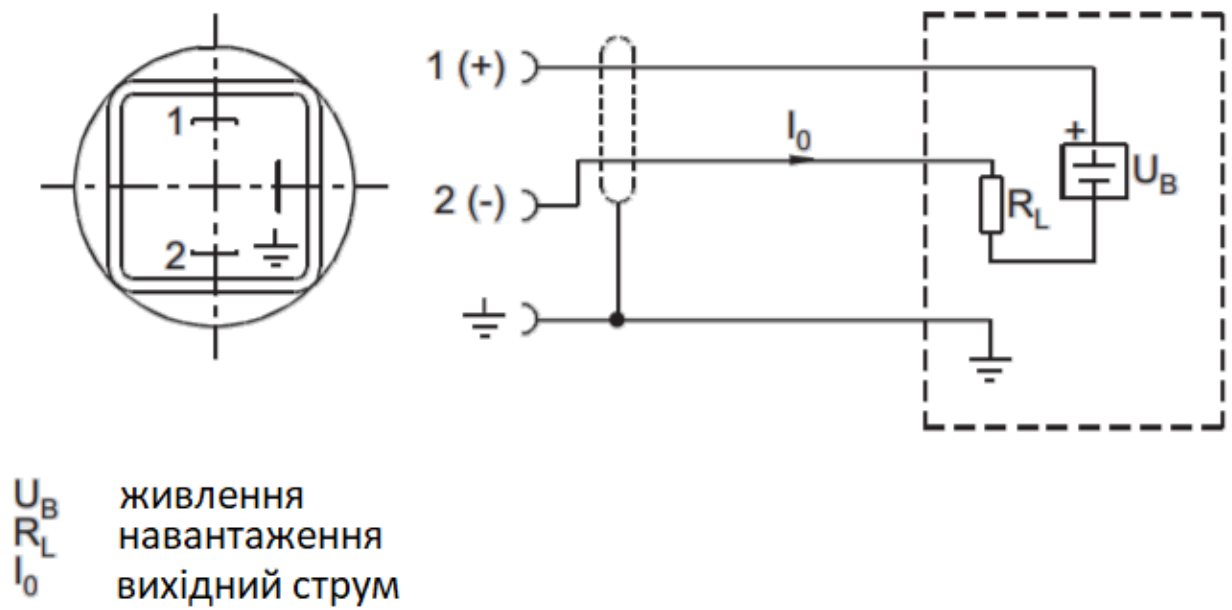


Рис. 7.5. Схема підключення датчика опору

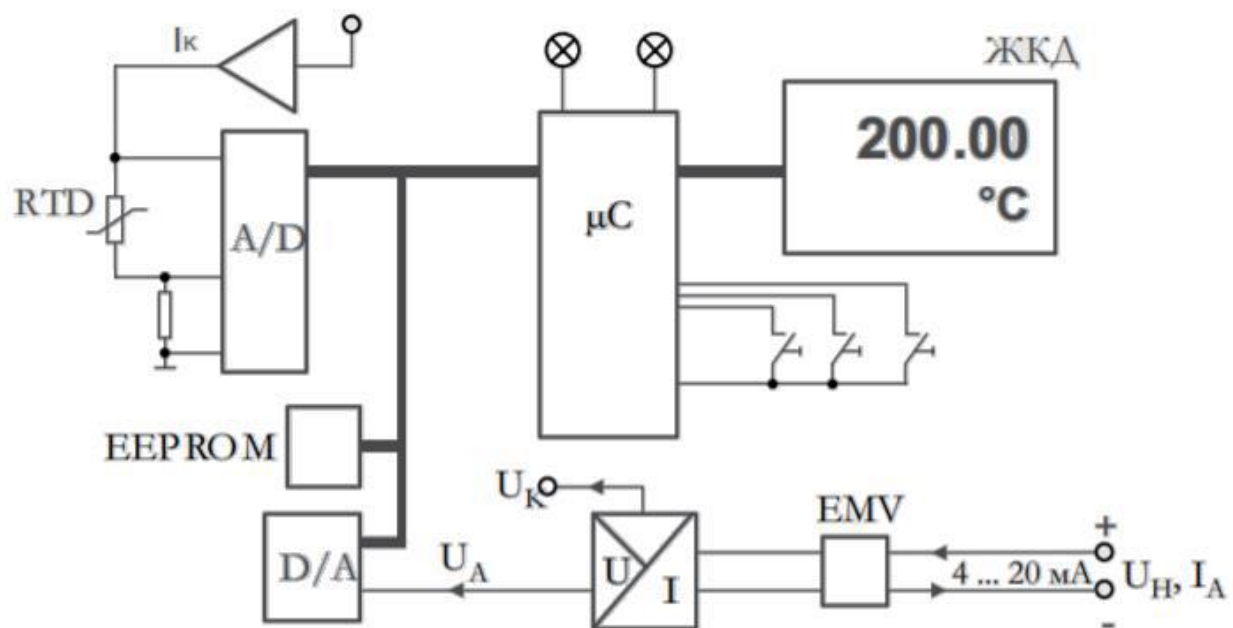


Рис. 7.6. – Будова датчику опору



Рис. 7.7. Електромагнітні витратоміри

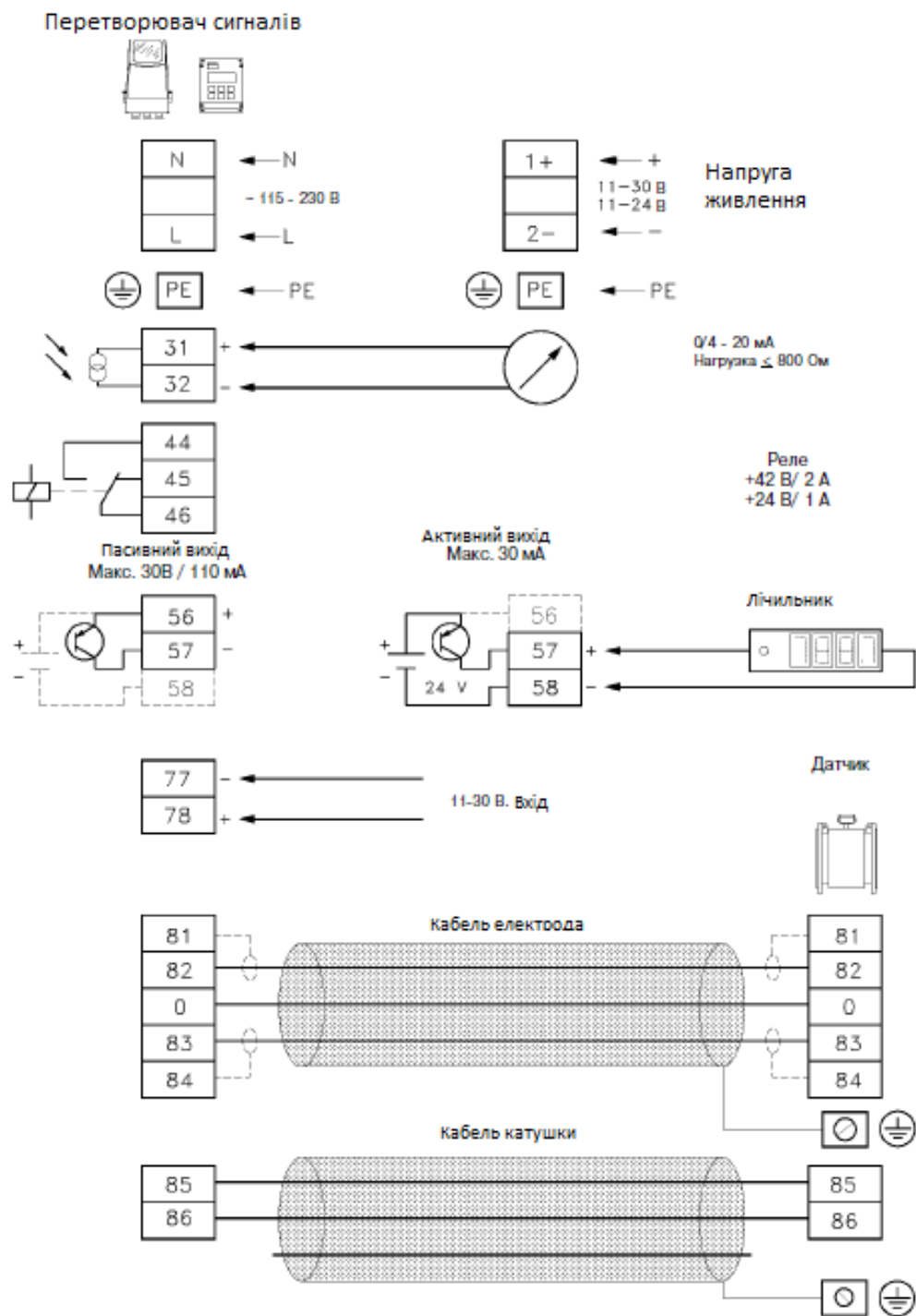


Рис 7.8. Типова схема підключення витратоміра



Рис. 7.9. – Электро-пневматичний перетворювач



Рис. 7.10. – Пневматичний клапан



Рис. 7.11. – Частотний перетворювач

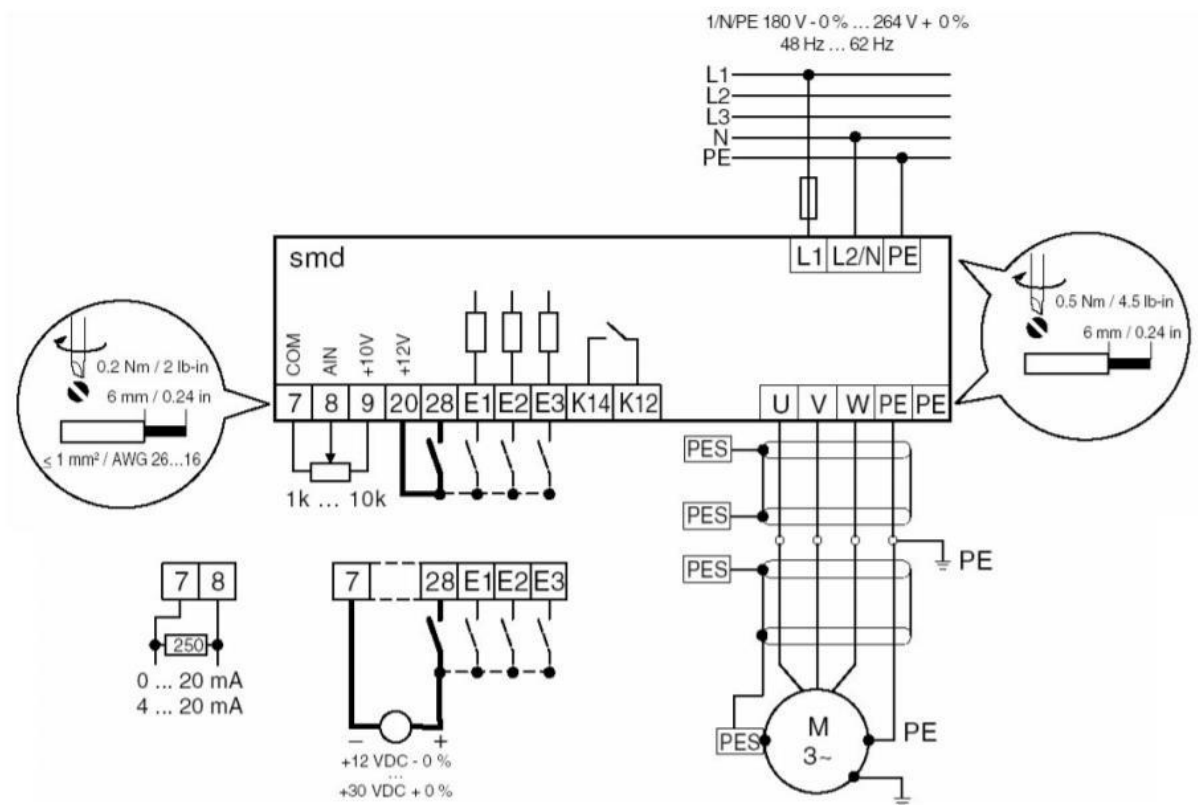


Рис. 7.12. Електрична схема підключення клем перетворювача

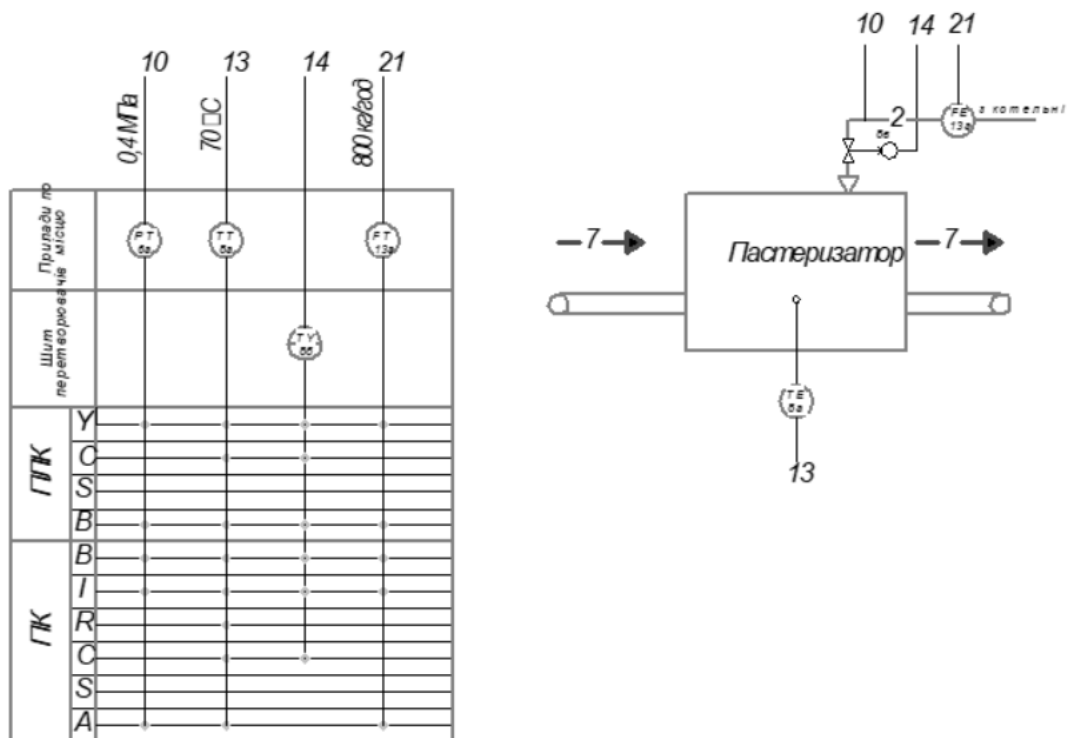


Рис. 7.13. – Схема автоматизації контуру із регулювання температури у пастеризаторі

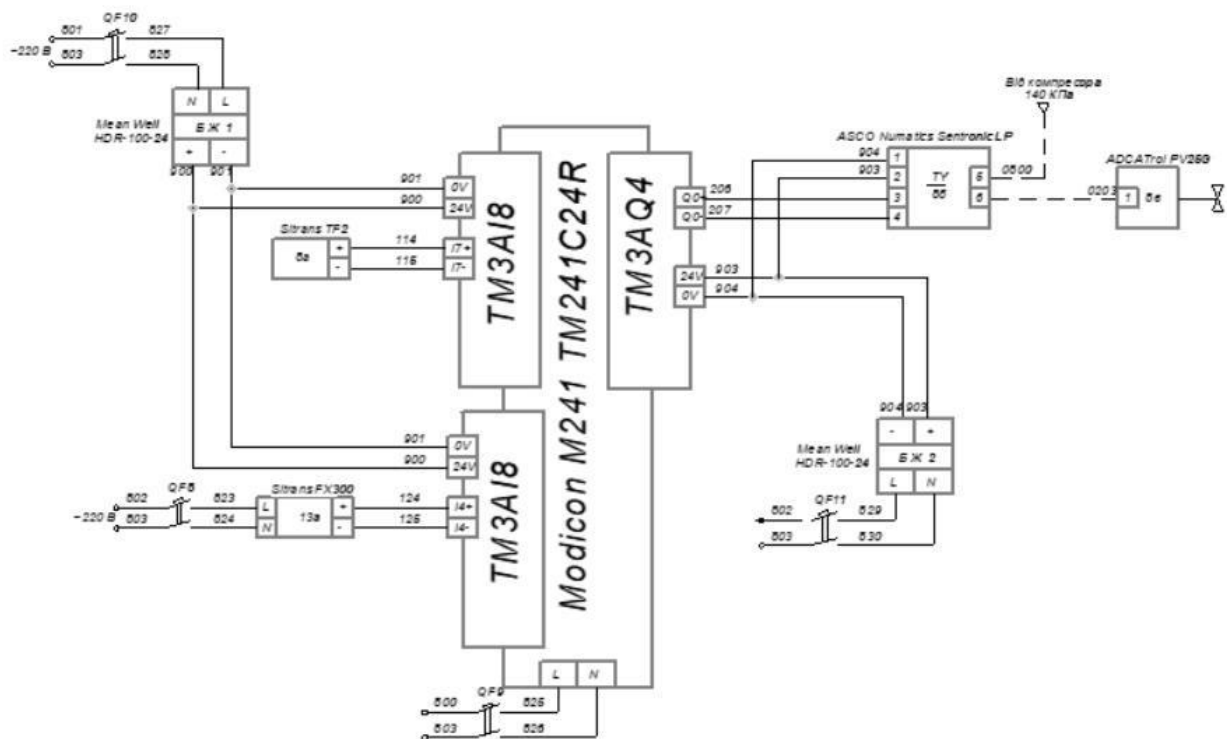


Рис. 7.14. Схема підключення витратоміра, пневматичного клапану, термометра опору до модулів ПЛК

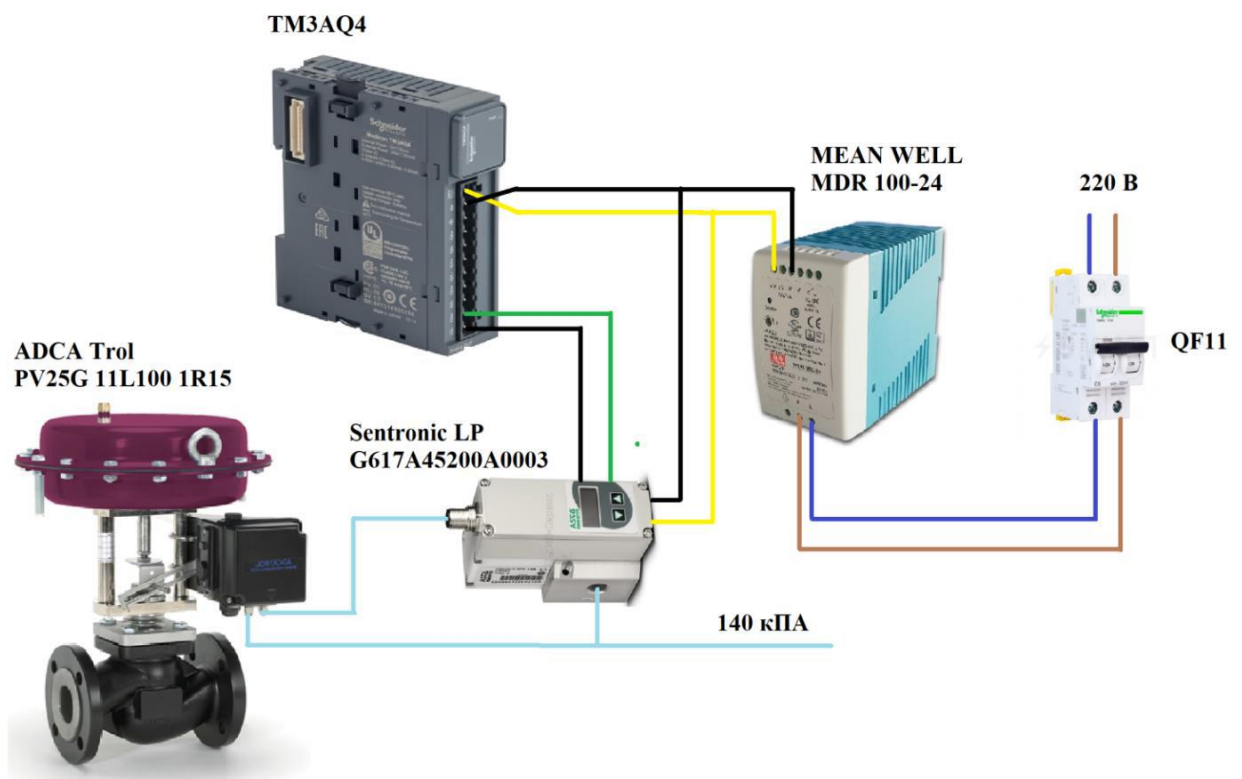


Рис. 7.15. Графічна схема підключення зазначених елементів до вихідного модуля

### 7.3. Створення математичної моделі об'єкта

Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання (САР) пастеризації — це створення цифрового двійника процесу, що дозволяє випробувати систему ще до того, як пиво потрапить у труби. У сучасній промисловості для цього використовують програмне забезпечення типу MATLAB/Simulink, LabVIEW або спеціалізовані модулі в SCADA-системах.

Основні етапи моделювання САР пастеризації

Пиво в теплообміннику — це об'єкт із великою інерцією. Воно не нагрівається миттєво. Модель враховує:

- Коефіцієнт теплопередачі пластин теплообмінника.
- Витрату пива ( $\text{м}^3/\text{год}$ ).
- Теплоємність продукту.

Вибір закону регулювання (ПД-регулятор)

Найчастіше для пастеризації моделюють ПД-регулятор (Пропорційно-Інтегрально-Диференціальний). У моделі налаштовують три параметри:

- Р (Пропорційний): швидкість реакції на відхилення температури.
- І (Інтегральний): усунення залишкової помилки (щоб температура була рівно  $72,0^\circ \text{C}$ , а не  $71,8^\circ \text{C}$ ).
- D (Диференціальний): передбачення різких стрибків (наприклад, якщо раптово змінився тиск пари).

Моделювання перехідних процесів

За допомогою САР перевіряють, як система поводитиметься в критичних ситуаціях:

- Стрибок навантаження: Що буде, якщо швидкість конвеєра різко зросте?
- Затримка сигналу: Як вплине на якість те, що датчик стоїть за 2 метри від зони нагріву?

*Програмні інструменти*

- Simulink (MathWorks): Побудова блок-схем, де кожен блок — це клапан, датчик або насос.

- Tia Portal (Siemens): Має вбудовані засоби симуляції (S7-PLCSIM), які дозволяють "прогнати" алгоритм пастеризації на віртуальному контролері.

Приклад: Якщо модель показує, що система стабілізується за 30 секунд, а пиво за цей час пробігає 10 метрів труби — це означає, що конструкцію заводу треба змінювати (ставити довший буферний танк або швидші клапани).

Алгоритм роботи контролера (ПЛК) для пастеризатора базується на циклічному опитуванні датчиків та порівнянні значень із заданою "точкою установки" (Set Point).

Нижче наведено логіку керування для потокового (флеш) пастеризатора, де головним інструментом регулювання є ПІД-регулятор.

#### *Логічна схема алгоритму керування*

Алгоритм можна розділити на три основні фази: Старт (Прогрів), Робочий режим та Аварійний режим.

##### 1. Етап порівняння та розрахунку

Кожні 100–500 мс контролер виконує наступні кроки:

1. Зчитування Tfact: Отримання сигналу від датчика Pt100 на виході з витримувача.

2. Розрахунок помилки (e):  $e = T_{set} - T_{fact}$ .

3. Обчислення ПІД-сигналу: Контролер вирішує, на скільки відсотків (0–100%) відкрити клапан подачі пари в теплообмінник.

##### 2. Алгоритм прийняття рішень (Logic Flow)

- ЯКЩО  $T_{fact} < T_{min}$  (наприклад, нижче 71° C):

- Активується Клапан рециркуляції.

- Пиво не йде на розлив, а повертається в балансний танк на повторне коло.

- *Мета:* Запобігти потраплянню недопастеризованого продукту в кеги/пляшки.
- ЯКЩО  $T_{act} > T_{max}$  (наприклад, вище  $75^{\circ} \text{C}$ ):
  - Система зменшує подачу пари.
  - Вмикається сигналізація "Ризик перегріву" (запобігання "паленому" смаку).
- ЯКЩО  $T_{fact} = T_{set} \pm 0.2^{\circ} \text{C}$ :
  - Режим "Стабільність". Клапан подачі пари робить лише мінімальні коригувальні рухи.

#### *Блок-схема САР (Системи автоматичного регулювання)*

У комп'ютерному моделюванні це виглядає як замкнутий контур:

1. Завдання: Оператор вводить  $72^{\circ} \text{C}$ .
2. Регулятор (ПЛК): Аналізує різницю.
3. Виконавчий механізм: Пневматичний клапан на паровій лінії.
4. Об'єкт: Теплообмінник (де пара гріє пиво).
5. Зворотний зв'язок: Датчик температури повертає дані на вхід ПЛК.

У складних моделях САР використовують каскад:

- Зовнішній контур: Стежить за температурою самого пива.
- Внутрішній контур: Стежить за температурою гарячої води (теплоносія), яка гріє це пиво.

Це дозволяє системі реагувати набагато швидше, оскільки вона "бачить" зміну температури теплоносія ще до того, як пиво встигне охолонути.

Завдяки такому моделюванню, сучасні заводи виходять на робочий режим пастеризації за лічені хвилини з нульовими втратами продукту.

### **7.3.1. Постановка задачі дослідження**

Ключовим завданням даної роботи є аналіз динамічної стійкості системи автоматичного регулювання (САР). Дослідження проводиться з використанням алгебраїчного критерію Рауса-Гурвіша, що дозволяє оцінити стабільність контуру без безпосереднього розв'язання диференціальних рівнянь.

#### Опис об'єкта керування

Як об'єкт автоматизації обрано контур стабілізації температури в установці пастеризації пива. Процес пастеризації є критичним етапом, що вимагає прецизійного дотримання температурного режиму.

Для побудови математичної моделі системи було проведено декомпозицію об'єкта на основні канали взаємодії (рис. 7.16):

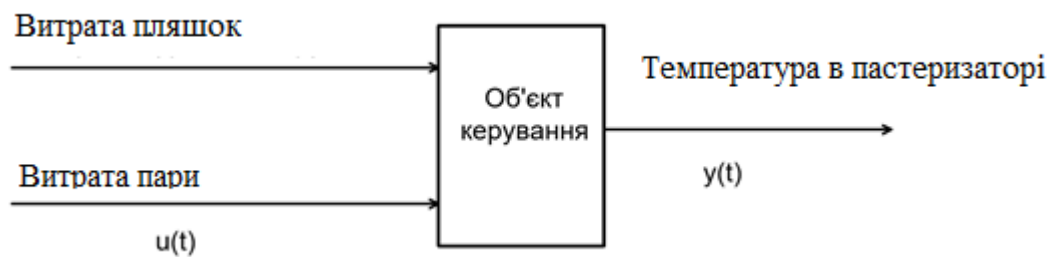


Рис. 7.16. Об'єкт керування

У даній роботі обрано математичну модель об'єкта керування, яка описується передавальними ланками виду (  $W_1(s)$  ) з параметрами (  $K$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ). Досліджуваний об'єкт керування характеризується наявністю позитивного самовирівнювання [12].

Значення коефіцієнтів математичної моделі прийнято відповідно до особливостей технологічного процесу розливу пива, описаного у спеціалізованій літературі.

Передавальну функцію каналу керування визначимо наступним чином.

$$W_{yu}(s) = \frac{1.7}{(15.3s+1)(7.2s+1)(3.1s+1)}; \quad (7.1)$$

$$W_{zy}(s) = \frac{0.1}{15.3s+1}; \quad (7.2)$$

Тоді передаточна функція нашого об'єкта керування:

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{1.7}{(15.3s+1)(7.2s+1)(3.1s+1)} + \frac{0.1}{15.3s+1} = \frac{1.7 + 0.1(7.2s+1)(3.1s+1)}{(15.3s+1)(7.2s+1)(3.1s+1)} \\ &= \frac{2.232s^2 + 1.03s + 1.8}{341.496s^3 + 179.91s^2 + 25.6s + 1}; \end{aligned}$$

Для подальшого дослідження стійкості системи автоматичного керування доцільно використувати характеристичний поліном замкненої системи автоматики. У даному випадку таким поліномом є  $D(p)$ , який визначається шляхом прирівнювання до нуля знаменника передавальної функції замкненої системи.

$$D(p) = 341.496s^3 + 179.91s^2 + 25.6s + 1 = 0 \quad (7.3)$$

Для оцінювання стійкості системи обрано критерій Рауса–Гурвіца. Його застосування передбачає формування матриці, у якій на головній діагоналі розміщуються коефіцієнти характеристичного полінома ( $D(p)$ ) від ( $a_1$ ) до ( $a_n$ ). Елементи, розташовані над головною діагоналлю, відповідають коефіцієнтам з більшими індексами, а під головною діагоналлю — коефіцієнтам з меншими індексами; за відсутності відповідного коефіцієнта у матрицю записується нуль.

Система вважається стійкою за умови, що всі визначальні коефіцієнти є додатними. Якщо хоча б один із них має від'ємне значення, система є нестійкою, а у випадку, коли хоча б один коефіцієнт дорівнює нулю, система перебуває на межі стійкості.

$$\Delta_1 = a_1 = 341.496 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \Delta_2 = 4.2642e+03 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \Delta_3 = 4.2643e+03 > 0.$$

Наступним етапом є перевірка стійкості системи в середовищі MATLAB Simulink. Тут контур регулювання температури реалізовано на основі ПІ-регулятора, який забезпечує високу швидкодію та задовільну якість регулювання.

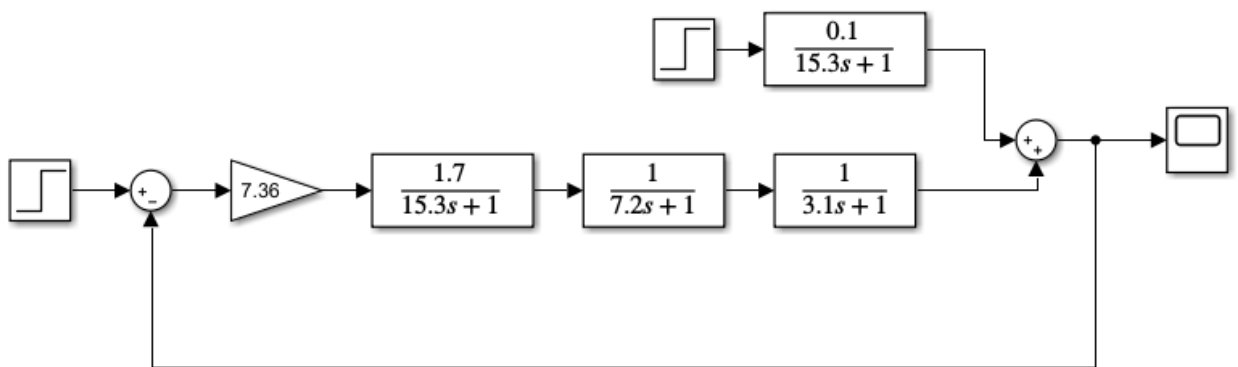


Рис. 7.17. Структурна схема об'єкту автоматизації на межі стійкості

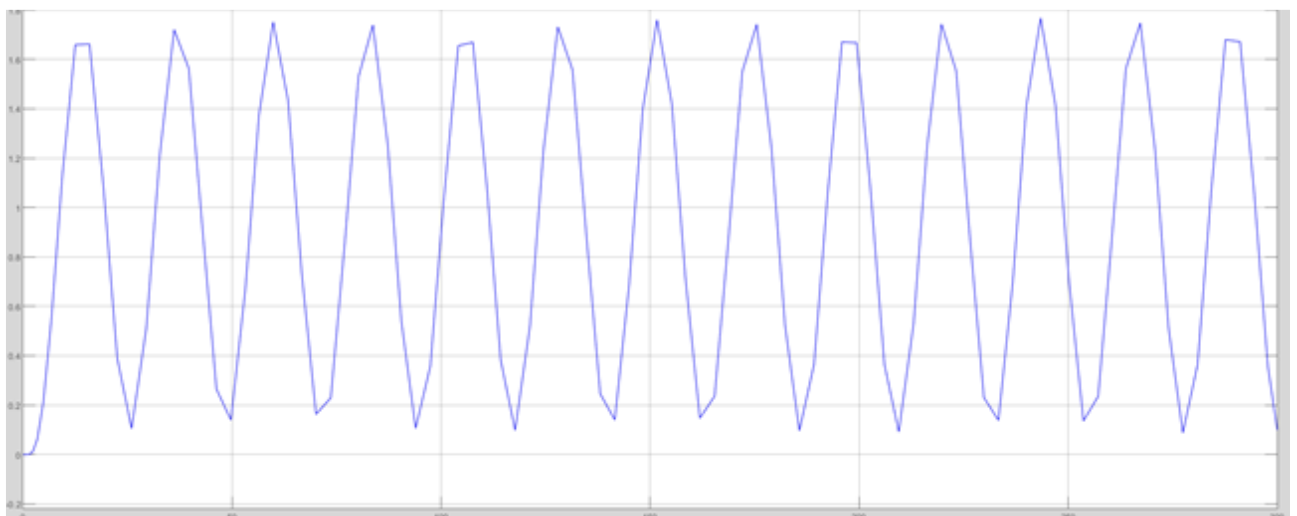


Рис. 7.18. Перехідний процес при відповідному значенні  $K_{кр}$

Наша спроектовувана система на межі стійкості об'єкту керування при наступних отриманих коефіцієнтах:  $K_{кр}=7,38$ ;  $T_{i.кр}=20,0$  с.

За допомогою отриманих вище виразів (7.1) - (7.2) можна визначити найбільш оптимальні, на наш погляд налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 0,45 * K_{кр};$$

$$T_i = T_{i.кр} / 1,2$$

$$K_p = 0,450 * 7,36 = 3,3110;$$

$$T_i = 20 / 1,20 = 16,68$$

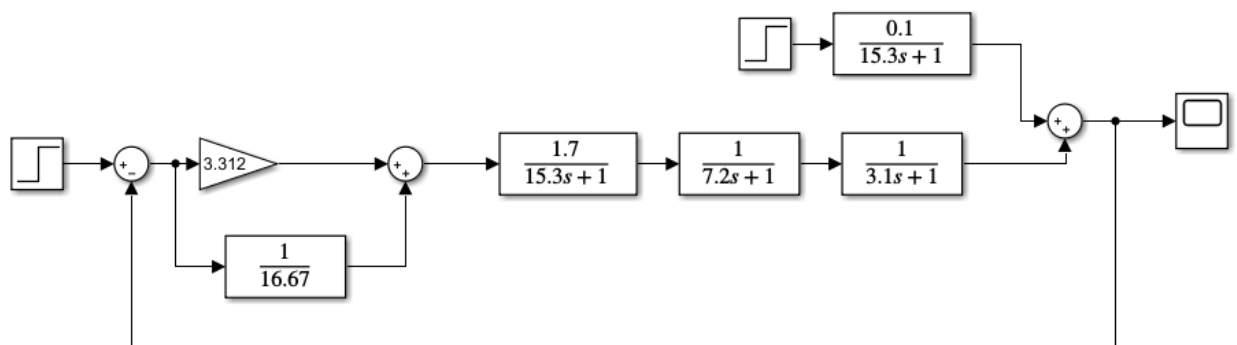


Рис. 7.19. Структурна схема об'єкту автоматизації із ПІ-регулятором

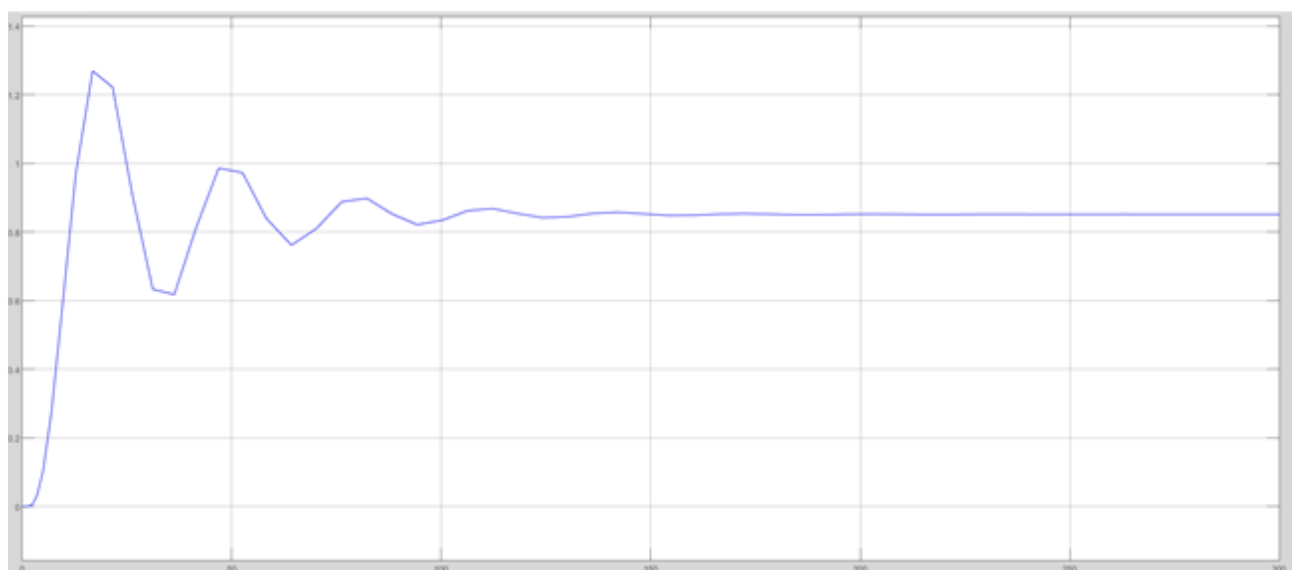


Рис. 7.20. Результати перехідного процесу із ПІ-регулятором

Аналіз перехідної характеристики свідчить про те, що розраховані налаштування ПІ-регулятора є оптимальними для даного об'єкта керування. Отже, розроблена система автоматичного керування ґрунтується на застосуванні сучасних вимірювальних засобів, виконавчих механізмів та регуляторів. Керування системою реалізується за допомогою високопродуктивного мікропроцесорного пристрою, що забезпечує можливість розширення функціональних можливостей та впровадження сучасних інженерних рішень. Під час проєктування системи автоматизації було дотримано всіх основних вимог, які висуваються до сучасних систем автоматичного керування.

Для практичної реалізації розробленої системи керування обрано сучасний комплекс технічних засобів, що забезпечує високу точність зняття показників та надійність виконання керуючих впливів:

1. Мікропроцесорний контролер (ПЛК): Виступає центральною ланкою системи. Він обробляє вхідні сигнали від датчиків за алгоритмом ПІ-регулятора та формує вихідний сигнал для виконавчих механізмів. Використання ПЛК дозволяє реалізувати цифрову фільтрацію шумів та забезпечити гнучкість налаштувань.

2. Первинні перетворювачі (Датчики): Для контуру температури доцільно використовувати платинові термоперетворювачі опору (типу Pt100). Вони мають високий клас точності та лінійну характеристику, що критично важливо для стабільної роботи САР, розрахованої в Matlab.

3. Виконавчі механізми: Регулюючі клапани з електропневматичними позиціонерами. Вони дозволяють плавно змінювати витрату теплоносія (пари або гарячої води) відповідно до сигналу від контролера.

Розроблена система автоматизації відповідає критеріям відкритості та масштабованості. Основними перевагами є:

- **Висока точність:** Завдяки розрахованим параметрам  $K_p$  та  $T_i$  відхилення температури від заданої точки є мінімальним, що гарантує мікробіологічну стабільність пива.
- **Інформативність:** Система дозволяє візуалізувати перехідні процеси в реальному часі на панелі оператора (HMI) або SCADA-системі.
- **Надійність:** Використання критерію Рауса-Гурвіша на етапі проектування дає гарантію, що система не увійде в автоколивальний режим при зміні зовнішніх умов.

Для впровадження розрахованої САР рекомендується використовувати наступне обладнання, що відповідає промисловим стандартам:

Табл.7.2. Обладнання для системи автоматизації

| Компонент                | Тип/Характеристика                          | Функціональна роль                                     |
|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Логічний контролер       | Siemens S7-1200 або VIPA SLIO               | Виконання алгоритму ПІ-регулювання та обробка даних.   |
| Модуль аналогового вводу | SM 1231 RTD                                 | Високоточне зчитування сигналу з датчиків температури. |
| Датчик температури       | Pt100 (клас А, 4-провідний)                 | Вимірювання температури пива на виході з витримувача.  |
| Клапан регулюючий        | Пневматичний з позиціонером (напр. Burkert) | Плавне керування подачею пари в теплообмінник.         |
| Перетворювач тиску       | Електроконтактний манометр                  | Моніторинг тиску для захисту банок від деформації.     |

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В.]; – М.-во освіти і науки України, Центральноукр. Нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив –Систем», 2021. – 209 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник –Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. – 408 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
4. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
7. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
8. Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ "В справі", 2016. — 260 с.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.
10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

11. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

12. Хорольський, В.П. Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. – 400 с.

13. Шевченко В.В., Тимчик Г.С. Основи автоматизації технологічних процесів. Конспект лекцій. Навчальний посібник. Електронне мережне навчальне видання. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/97358d2f-ecf9-44a1-a78f-6510ffef424c/content>

14. Єремєєв І.С., Кисельов В.Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: навчальний посібник – К. : Видавництво «Гельветика», 2022. – 324 с.

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

ДОДАТКИ

|      |      |          |        |      |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
|      |      |          |        |      |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Табл. Д 1.1  
Розрахунок електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

| №<br>п/п | Назва групи споживачів     | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт  |                          | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | K <sub>н</sub> | cos φ | tg φ | Середнє                  |                           | n <sub>сф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|----------|----------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------|----------------|-------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|          |                            |            | Р <sub>мін</sub><br>кВт | Р <sub>макс</sub><br>кВт |                         |      |                |       |      | Р <sub>ср</sub> ,<br>кВт | Q <sub>ср</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>р</sub> , кВт      | Q <sub>р</sub> , кВар | S <sub>р</sub> , кВА |
| 1.       | Солодовий цех              | 160        | 2                       | 16                       | 1155                    | 8    | 0,58           | 0,75  | 0,88 | 669,9                    | 590,8                     | 144             | 1,07           | 714,59                    | 590,8                 | 927,19               |
| 2.       | Дробильний цех             | 101        | 0,78                    | 9,2                      | 966                     | 11,8 | 0,67           | 0,79  | 0,78 | 647,22                   | 502,3                     | 101             | 1,06           | 686,44                    | 502,3                 | 850,59               |
| 3.       | Затиральний цех            | 51         | 0,95                    | 11                       | 289                     | 11,6 | 0,36           | 0,83  | 0,67 | 104,04                   | 69,92                     | 51              | 1,21           | 125,62                    | 69,92                 | 143,77               |
| 4.       | Фільтраційно-варильний цех | 57         | 0,65                    | 11                       | 352                     | 16,9 | 0,27           | 0,68  | 1,08 | 95,04                    | 102,48                    | 57              | 1,25           | 118,48                    | 102,48                | 156,65               |
| 5.       | Бродильний цех             | 25         | 0,45                    | 12                       | 154                     | 26,7 | 0,31           | 0,72  | 0,96 | 47,74                    | 46,01                     | 25              | 1,35           | 64,58                     | 46,01                 | 79,29                |
| 6.       | Розливний цех              | 35         | 0,25                    | 10                       | 156                     | 40   | 0,42           | 0,85  | 0,62 | 65,52                    | 40,61                     | 31              | 1,24           | 81,06                     | 40,61                 | 90,66                |
| 7.       | Котельня                   | 19         | 1,5                     | 20                       | 305                     | 13,3 | 0,59           | 0,84  | 0,65 | 179,95                   | 116,24                    | 19              | 1,2            | 216,41                    | 116,24                | 245,65               |
| 8.       | Склад                      | 14         | 0,9                     | 16                       | 145                     | 17,8 | 0,16           | 0,77  | 0,83 | 23,2                     | 19,22                     | 14              | 1,79           | 41,59                     | 19,22                 | 45,82                |
| 9.       | Заводууправління           | 23         | 0,4                     | 4,3                      | 56                      | 10,7 | 0,46           | 0,91  | 0,46 | 25,76                    | 11,74                     | 23              | 1,26           | 32,33                     | 11,74                 | 34,4                 |
|          | Всього                     | 485        | 0,25                    | 20                       | 3578                    | 80   | 0,519<br>388   | 0,778 | 0,81 | 1858,37                  | 1499,32                   | 358             | 1              | 1858,37                   | 1499,32               | 2387,78              |

Табл. Д 1.2  
Розрахунок освітлювального навантаження

| №<br>п/п | Назва об'єкту              | F, м <sup>2</sup> | P <sub>0</sub> ,<br>Вт/м <sup>2</sup> | P <sub>y</sub> ,<br>кВт | K <sub>c</sub> | K <sub>1</sub> | cosφ | tgφ    | P <sub>p</sub> ,<br>кВт | Q <sub>p</sub> ,<br>кВАр | S <sub>p</sub> ,<br>кВА |
|----------|----------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|------|--------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1.       | Солодовий цех              | 2020              | 20                                    | 41,2                    | 0,89           | 1              | 0,89 | 0,483  | 37,18                   | 18,51                    | 42,19                   |
| 2.       | Дробильний цех             | 1885              | 20                                    | 37,8                    | 0,89           | 1              | 0,85 | 0,584  | 34,84                   | 16,88                    | 38,6                    |
| 3.       | Затиральний цех            | 1985              | 18                                    | 36,64                   | 0,89           | 1              | 0,88 | 0,5484 | 33,08                   | 15,56                    | 36,64                   |
| 4.       | Фільтраційно-варильний цех | 565               | 16                                    | 11,32                   | 0,9            | 1              | 0,92 | 0,429  | 10,09                   | 4,65                     | 11,58                   |
| 5.       | Бродильний цех             | 785               | 15                                    | 12,18                   | 0,9            | 1              | 0,88 | 0,554  | 11,03                   | 6,44                     | 12,18                   |
| 6.       | Розливний цех              | 685               | 16                                    | 10,78                   | 0,9            | 1              | 0,89 | 0,483  | 9,89                    | 4,94                     | 11,08                   |
| 7.       | Котельня                   | 300               | 10                                    | 12                      | 0,9            | 1              | 0,81 | 0,75   | 11,8                    | 8,2                      | 13,7                    |
| 8.       | Склад                      | 1250              | 11                                    | 3,82                    | 0,89           | 1              | 0,81 | 0,75   | 3,45                    | 2,61                     | 4,22                    |
| 9.       | Заводоуправління           | 460               | 22                                    | 10                      | 0,9            | 1              | 0,9  | 0,483  | 9,1                     | 4,12                     | 10                      |
| 10.      | Територія заводу           | 52200             | 0,28                                  | 16,6                    | 0,72           | 1              | 0,95 | 0,329  | 11,92                   | 4,59                     | 12,49                   |
|          | Всього                     |                   |                                       | 192,3                   |                |                |      |        | 172,4                   | 86,5                     | 193,2                   |

Табл. Д 1.3  
Розрахунок електричних навантажень в мережі 10 кВ

| Назва групи споживачів                    | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт  |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | K <sub>и</sub> | cosφ | tgφ  | Середнє                  |                           | п <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|-------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                           |            | Р <sub>мін</sub><br>кВт | Р <sub>мак</sub><br>кВт |                         |      |                |      |      | Р <sub>ем</sub> ,<br>кВт | Q <sub>ем</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>р</sub> , кВт      | Q <sub>р</sub> , кВар | S <sub>р</sub> , кВА |
| ТП -1 (2*630 кВА)                         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Солодовий цех                             |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 160        | 2                       | 16                      | 1155                    | 8    | 0,58           | 0,75 | 0,88 | 669,9                    | 590,8                     | 144             | 1,07           | 714,59                    | 590,8                 | 927,19               |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 41,2                     |                           |                 |                | 37,18                     | 18,51                 |                      |
| Всього:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 711,1                    | 590,8                     |                 |                | 751,77                    | 609,31                | 967,69               |
| Затиральний цех                           |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 51         | 0,95                    | 11                      | 289                     | 11,6 | 0,36           | 0,83 | 0,67 | 104,04                   | 69,92                     | 51              | 1,21           | 125,62                    | 69,92                 | 143,77               |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 36,64                    |                           |                 |                | 33,08                     | 15,66                 |                      |
| Всього:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 140,68                   | 69,92                     |                 |                | 158,7                     | 85,58                 | 180,3                |
| Всього по ТП -1 (2*630 кВА):              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 211        | 0,95                    | 16                      | 1444                    | 16,8 | 0,54           | 0,76 | 0,85 | 773,94                   | 660,72                    | 180             | 1,07           | 825,41                    | 660,72                | 1057,29              |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 77,84                    |                           |                 |                | 70,26                     | 34,17                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                 |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | -600                      |                 |                |                           | -600                  |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП -1 (2*630 кВА): |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 851,78                   | 60,72                     |                 |                | 895,67                    | 94,89                 | 900,68               |
| Втрати в трансформаторах:                 |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 11,13                     | 82,17                 |                      |
| Кількість трансформаторів: 2              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номінальна потужність, кВА: 630           |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,71        |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП -1 (2*630 кВА):  |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 906,8                     | 177,06                | 923,92               |
| ТП -2 (2*630 кВА)                         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Дробильний цех                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 101        | 0,78                    | 9,2                     | 966                     | 11,8 | 0,67           | 0,79 | 0,78 | 647,22                   | 502,3                     | 101             | 1,06           | 686,44                    | 502,3                 | 850,59               |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 37,8                     |                           |                 |                | 34,84                     | 16,88                 |                      |

## Продовження таблиці

| Назва групи споживачів                    | К-ть<br>ЕС | Р <sub>одн</sub> , кВт  |                         | Р <sub>сум</sub><br>кВт | m    | K <sub>и</sub> | cosφ | tgφ  | Середнє                  |                           | n <sub>еф</sub> | K <sub>м</sub> | Розрахункове навантаження |                       |                      |
|-------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|----------------|------|------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
|                                           |            | Р <sub>min</sub><br>кВт | Р <sub>max</sub><br>кВт |                         |      |                |      |      | Р <sub>см</sub> ,<br>кВт | Q <sub>см</sub> ,<br>кВар |                 |                | Р <sub>р</sub> , кВт      | Q <sub>р</sub> , кВар | S <sub>р</sub> , кВА |
| Всього:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 685,02                   | 502,3                     |                 |                | 721,28                    | 519,18                | 888,7                |
| Котельня                                  |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 19         | 1,5                     | 20                      | 305                     | 13,3 | 0,59           | 0,84 | 0,65 | 179,95                   | 116,24                    | 19              | 1,2            | 216,41                    | 116,24                | 245,65               |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 12                       |                           |                 |                | 11,8                      | 8,2                   |                      |
| Всього:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 191,95                   | 116,24                    |                 |                | 228,21                    | 124,44                | 259,93               |
| Всього по ТП -2 (2*630 кВА):              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 120        | 0,78                    | 20                      | 1271                    | 25,6 | 0,65           | 0,8  | 0,75 | 827,17                   | 618,54                    | 120             | 1,06           | 876,04                    | 618,54                | 1072,4               |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 49,8                     |                           |                 |                | 46,64                     | 25,08                 |                      |
| БК 0,4 кВ                                 |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          | -600                      |                 |                |                           | -600                  |                      |
| Всього на шинах 0.4 кВ ТП -2 (2*630 кВА): |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 876,97                   | 18,54                     |                 |                | 922,68                    | 43,62                 | 923,71               |
| Втрати в трансформаторах:                 |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 11,53                     | 84,34                 |                      |
| Кількість трансформаторів: 2              |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Номинальна потужність, кВА: 630           |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,73        |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Всього на шинах 10 кВ ТП -2 (2*630 кВА):  |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                | 934,21                    | 127,96                | 942,93               |
| ТП -3 (1*630 кВА)                         |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| Заводоуправління                          |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 23         | 0,4                     | 4,3                     | 56                      | 10,7 | 0,46           | 0,91 | 0,46 | 25,76                    | 11,74                     | 23              | 1,26           | 32,33                     | 11,74                 | 34,4                 |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 10                       |                           |                 |                | 9,1                       | 4,12                  |                      |
| Всього:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 35,76                    | 11,74                     |                 |                | 41,43                     | 15,86                 | 44,36                |
| Розливний цех                             |            |                         |                         |                         |      |                |      |      |                          |                           |                 |                |                           |                       |                      |
| силове:                                   | 35         | 0,25                    | 10                      | 156                     | 40   | 0,42           | 0,85 | 0,62 | 65,52                    | 40,61                     | 31              | 1,24           | 81,06                     | 40,61                 | 90,66                |
| освітлювальне:                            |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 10,78                    |                           |                 |                | 9,89                      | 4,94                  |                      |
| Всього:                                   |            |                         |                         |                         |      |                |      |      | 76,3                     | 40,61                     |                 |                | 90,95                     | 45,55                 | 101,72               |

[illegible][illegible]

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |

[illegible]

Табл. Д 2.1.  
Допоміжна таблиця для побудови картограми навантажень

| <i>№п/п</i> | <i>Назва підрозділу</i>    | <i>m</i> | <i>Pr осв</i> | <i>Pr сил</i> | <i>Pr сил + Pr осв</i> | <i>R</i> | <i>α</i> | <i>Xi</i> | <i>Yi</i> | <i>Pi*Xi</i> | <i>Pi*Yi</i> |
|-------------|----------------------------|----------|---------------|---------------|------------------------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| 1           | Солодовий цех              | 0,25     | 37            | 714           | 751                    | 31       | 4        | 6         | 11        | 4506         | 8261         |
| 2           | Дробильний цех             | 0,25     | 35            | 686           | 721                    | 30       | 5        | 10        | 11        | 7210         | 7931         |
| 3           | Затиральний цех            | 0,25     | 33            | 126           | 159                    | 14       | 11       | 10        | 6         | 1590         | 954          |
| 4           | Фільтраційно-варильний цех | 0,25     | 10            | 118           | 128                    | 13       | 9        | 12        | 15        | 1536         | 1920         |
| 5           | Бродильний цех             | 0,25     | 11            | 64            | 75                     | 15       | 8        | 12        | 16        | 900          | 1200         |
| 6           | Розливний цех              | 0,25     | 10            | 81            | 91                     | 11       | 7        | 7         | 16        | 637          | 1456         |
| 7           | Котельня                   | 0,25     | 12            | 216           | 228                    | 17       | 4        | 13        | 7         | 2964         | 1596         |
| 8           | Склад                      | 0,25     | 3             | 42            | 45                     | 8        | 3        | 9         | 19        | 405          | 855          |
| 9           | Заводууправління           | 0,25     | 9,0           | 32            | 41                     | 7        | 18       | 5         | 17        | 205          | 697          |
|             |                            |          |               |               |                        |          |          |           |           |              |              |
|             |                            |          |               |               |                        |          |          |           |           |              |              |

2239

19953

$X_0 = 8,91$  см

$Y_0 = 11,11$  см

Табл. Д 4.1.

## Баланс реактивної потужності

| <i>№ варіанту</i> | <i>Кількість тр-торів</i> | $Q_1, \text{кВАр}$ | $Q_{KH}, \text{кВАр}$ | $Q_{KB}, \text{кВАр}$ |
|-------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                 | 5                         | 84,31              | 1500,69               | -18,48                |
| 2                 | 6                         | 1350,34            | 234,66                | 1247,55               |
| 3                 | 7                         | 1992,48            | 0                     | 1482,21               |

Табл. Д 4.2.

## Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

| <i>№ вар.</i> | $Q_{KH}, \text{кВАр}$ | $\Delta P_{KH}, \text{кВт}$ | $Q_{KB}, \text{кВАр}$ | $\Delta P_{KB}, \text{кВт}$ | $N_{тр}, \text{шт.}$ | $R_{екв}, \text{Ом}$ | $S_{пр}, \text{кВА}$ | $\Delta P_{тп}, \text{кВт}$ | $K_{KH}, \text{тис. грн.}$ | $K_{KB}, \text{тис. грн.}$ | $K_{КТП}, \text{тис. грн.}$ | $З, \text{тис. грн.}$ |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1             | 866                   | 3,9                         | 600                   | 1,8                         | 5                    | 0,33                 | 2031,75              | 13,62                       | 26,18                      | 40,28                      | 1613,5                      | 724,2                 |
| 2             | 666                   | 3                           | 900                   | 2,7                         | 6                    | 0,27                 | 2438,1               | 16,05                       | 18,84                      | 30,68                      | 1951                        | 828,4                 |
| 3             | 400                   | 1,8                         | 1200                  | 3,6                         | 7                    | 0,23                 | 2844,45              | 18,61                       | 10,64                      | 50,82                      | 2288,5                      | 931,5                 |

Табл. Д 5.1.

## Вибір цехових трансформаторних підстанцій

| №ТП | Sp,<br>кВА | Sном,<br>кВА | N | Марка<br>трансф. | Kз   | Kз.ав. | Категорій<br>ність<br>приймачів | Тип КТП         | Місце<br>розташуван<br>ня         |
|-----|------------|--------------|---|------------------|------|--------|---------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1   | 923,9      | 630          | 2 | ТМЗ-<br>630/10   | 0,71 | 1,42   | I, II, III                      | прибудова<br>на | Солодовий<br>цех                  |
| 2   | 942,9      | 630          | 2 | ТМЗ-<br>630/10   | 0,73 | 1,46   | II, III                         | прибудова<br>на | Дробильний<br>цех                 |
| 3   | 459,6      | 630          | 1 | ТМЗ-<br>630/10   | 0,68 | 0,69   | II, III                         | прибудова<br>на | Фільтраційно<br>-варильний<br>цех |

Табл. Д 6.1.  
Розрахунок струмів КЗ

| <i>№<br/>точки<br/>к.з.</i> | <i>R, Ом</i> | <i>X, Ом</i> | <i>I<sub>к</sub>" , кА</i> | <i>T<sub>а</sub>, с</i> | <i>k<sub>yd</sub></i> | <i>i<sub>yd</sub>, кА</i> |
|-----------------------------|--------------|--------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1                           | 1,4080       | 1,3030       | 3,16                       | 0,0029                  | 1,032                 | 4,61                      |
| 2                           | 1,5130       | 1,3110       | 3,03                       | 0,0028                  | 1,028                 | 4,41                      |
| 3                           | 0,0048       | 0,0159       | 13,91                      | 0,0105                  | 1,386                 | 27,26                     |
| 4                           | 1,5380       | 1,3130       | 3,00                       | 0,0027                  | 1,025                 | 4,35                      |
| 5                           | 0,0049       | 0,0159       | 13,91                      | 0,0103                  | 1,379                 | 27,13                     |
| 6                           | 1,4760       | 1,3080       | 3,07                       | 0,0028                  | 1,028                 | 4,46                      |
| 7                           | 0,0048       | 0,0159       | 13,91                      | 0,0105                  | 1,386                 | 27,26                     |

Табл. 6.2.

## Вибір кабелів 10 кВ підприємства

| №<br>КЛ | Sp, кВА | Ip, А | Переріз,<br>мм <sup>2</sup> | Кількість<br>КЛ | Марка кабелю | Призначення          |
|---------|---------|-------|-----------------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| КЛ2     | 923,9   | 26,7  | 50                          | 2               | ААШв(3×50)   | ЦРП-КТП1             |
| КЛ3     | 942,9   | 27,3  | 50                          | 2               | ААШв(3×50)   | ЦРП-КТП2             |
| КЛ4     | 459,6   | 26,5  | 50                          | 1               | ААШв(3×50)   | ЦРП-КТП3             |
| КЛ1     | 2064,3  | 59,6  | 50                          | 2               | ААБ(3×50)    | Від<br>енергосистеми |

Табл. Д 6.3

## Вибір вимикачів 10 кВ на вводах

| Параметри мережі                                                 | Розрахункові формули                                                              | Параметри вимикача                                      |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 10 кВ                                                            | $U_{уст} \leq U_{ном}$                                                            | 10 кВ                                                   |
| 120 А                                                            | $I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$                                                      | 630,0 А                                                 |
| 2,92 кА                                                          | $I_K \leq I_{динс}$                                                               | 20,0 кА                                                 |
| 4,23 кА                                                          | $i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{динс}$                                      | 51,0 кА                                                 |
| 2,92 кА                                                          | $I_{нт} \leq I_{ном\,відкл}$                                                      | 20,0 кА                                                 |
| $\sqrt{2} \cdot 2,92 + 2,42 = 6,55 \text{ кА}$                   | $\sqrt{2} \cdot I_{номг} + i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot I_{н\,відкл} (1 + \beta_n)$ | $\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,25) = 35,26 \text{ кА}$ |
| $2,92^2 (0,03 + 1,5 + 0,045) = 13,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$                                                | $20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$       |

\*На фідерах відходячих ліній встановлюються аналогічні вимикачі