

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
В.о. завідувача кафедри  
Олександр ЮРЧЕНКО

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження параметрів електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів»»

Виконав

\_\_\_\_\_

(підпис)

Денис МАКУРИН  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

ЕТЕС 2401-1 М

Науковий керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ганна БАРСУКОВА  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Олена ДОВЖИК  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет **інженерно-технологічний**

Кафедра **енергетики та електротехнічних систем**

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
енергетики та електротехнічних систем

**Андрій ЧЕПЖНИЙ**

«5» вересня 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
на кваліфікаційну роботу  
**Денису МАКУРИНУ**  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження параметрів електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів»
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Барсукова Ганна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент
3. Строк подання здобувачем роботи: «14» листопада 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: паспортні дані на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів», правила улаштування електроустановок, правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, характеристики електроенергетичного устаткування, методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Огляд літератури; Розділ 2. Аналіз методів та електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів»; Розділ 3. Технологічна частина; Розділ 4. Охорона праці; Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування; Висновки; Список використаних джерел
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ганна БАРСУКОВА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Завдання прийняла до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

Денис МАКУРИН

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «5» вересня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Огляд літератури»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Аналіз методів та електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів»»	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Технологічна частина»	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування»	до 20.10.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	до 25.10.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13.	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ганна БАРСУКОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

\_\_\_\_\_

(підпис)

Денис МАКУРИН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків і списку використаних джерел. Роботу викладено на 56 аркушах друкованого тексту, вона містить 3 рисунки, 2 таблиці та 32 формули.

Метою роботи є підвищення енергоефективності електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» шляхом аналізу параметрів його роботи та розробки пропозицій щодо модернізації системи електроприводу.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні промислові методи виробництва мила та структуру електротехнологічного комплексу;
- обґрунтувати вибір безперервної технології як оптимального рішення для підприємства;
- спроектувати принципову технологічну схему та тривірневу систему автоматизованого управління (DCS);
- розробити систему частотно-регульованого електроприводу для основного енергоємного обладнання (шнек-прес);
- розробити заходи з охорони праці та розрахувати захисне заземлення;
- виконати техніко-економічне обґрунтування та оцінку ефективності впровадження.

Дослідження проведено на базі ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів», де розглянуто необхідність модернізації застарілого обладнання та впровадження енергоефективних технологій.

Розроблені рішення забезпечують зниження споживання електроенергії на 15 %, річну економію коштів у розмірі 1 004 400 грн та термін окупності проєкту 6,2 місяця.

Ключові слова: виробництво мила, електротехнологічний комплекс, енергоефективність, частотно-регульований електропривод, автоматизація, шнек-прес, ПЛК, економічна ефективність.

## ABSTRACT

The qualification thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions, and a list of references. The work is presented on 56 pages of printed text and contains 3 figures, 2 tables, and 32 formulas.

The aim of the thesis is to improve the energy efficiency of the electrotechnological complex for soap production at PrJSC “Shostka Chemical Reagents Plant” by analyzing the parameters of its operation and developing proposals for modernizing the electric drive system.

Research objectives:

- to analyze modern industrial methods of soap production and the structure of the electrotechnological complex;
- to justify the choice of a continuous production process as the optimal solution for the enterprise;
- to design a principal technological flow diagram and a three-level Distributed Control System (DCS);
- to develop a variable-frequency electric drive system for the main energy-intensive equipment (screw press);
- to develop occupational safety measures and calculate protective grounding;
- to perform a technical and economic justification and evaluate the efficiency of the implementation.

The research was carried out at PrJSC “Shostka Chemical Reagents Plant”, where the need for modernization of outdated equipment and the introduction of energy-efficient technologies was examined.

The developed solutions provide a 15% reduction in electricity consumption, annual cost savings of 1,004,400 UAH, and a project payback period of 6.2 months.

Keywords: soap production, electrotechnological complex, energy efficiency, variable-frequency electric drive, automation, screw press, PLC, economic efficiency.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Хімічні та фізичні основи процесу омилення.....	10
1.2 Аналіз основних промислових методів виробництва.....	12
1.3 Структура та принципи функціонування електротехнологічного комплексу.....	12
1.4 Комплексна система автоматизації виробництва мила.....	14
1.5 Напрямки для оптимізації ЕТК миловарного виробництва.....	14
1.6 Висновки до 1-го розділу.....	16
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВИРОБНИЦТВА МИЛА НА ПРАТ «ШОСТКИНСЬКИЙ ЗАВОД ХІМІЧНИХ РЕАКТИВІВ».....	17
2.1 Опис методів виробництва мила.....	17
2.2 Аналіз обладнання для виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів».....	22
2.3 Висновки до 2-го розділу.....	29
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	30
3.1 Проектування принципової схеми роботи обладнання.....	30
3.2 Проектування електричної системи управління.....	33
3.3 Проектування функціональної схеми базового електроприводу.....	36
3.4 Висновки до 3-го розділу.....	40
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	42
4.1 Аналіз небезпечних факторів.....	42
4.2 Розробка заходів щодо забезпечення безпечних умов праці.....	43
4.3 Висновки до 4-го розділу.....	46

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	47
5.1 Розрахунок капітальних інвестицій.....	47
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат та економії.....	48
5.3 Показники економічної ефективності.....	50
5.4 Висновки до 5-го розділу.....	51
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

## ВСТУП

Хімічна промисловість є однією з ключових та найбільш енергоємних галузей економіки України. В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів та посилення конкуренції на світових ринках, питання підвищення енергоефективності та оптимізації технологічних процесів набуває виняткової актуальності. Виробництво мила, будучи одним із фундаментальних хімічних процесів, не є винятком. Ця галузь поєднує в собі класичні хімічні технології з сучасними інженерними рішеннями, де електротехнологічні комплекси (ЕТК) відіграють центральну роль, забезпечуючи перетворення електричної енергії на теплову та механічну для здійснення всіх етапів виробництва.

**Актуальність теми дослідження** полягає у нагальній необхідності детального аналізу та модернізації електротехнологічних комплексів на вітчизняних підприємствах, яскравим прикладом яких є ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів». Ефективність роботи таких комплексів безпосередньо впливає на собівартість продукції, її якість та конкурентоспроможність. Аналіз показує, що лєвова частка, до 70-80%, усієї електроенергії у миловарному виробництві споживається саме електроприводами насосного обладнання, змішувачів та, особливо, потужних шнек-пресів (плоддерів) на фінальних стадіях обробки. Застаріле обладнання та нерегульовані електроприводи, які часто експлуатуються в режимах неповного завантаження, призводять до значних перевитрат енергії та знижують загальну ефективність виробничої лінії. Таким чином, дослідження параметрів роботи електрообладнання, виявлення резервів для його модернізації та впровадження сучасних систем автоматизації є ключовим завданням для сталого розвитку підприємства.

**Метою магістерської роботи** є підвищення енергоефективності електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» шляхом аналізу параметрів його роботи та розробки

пропозицій щодо модернізації системи електроприводу.

**Об'єктом дослідження** є електротехнологічний комплекс безперервної лінії виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів».

**Предметом дослідження** є параметри роботи та енергетичні характеристики електрообладнання комплексу, зокрема асинхронних електроприводів, а також методи та засоби підвищення їх енергоефективності.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань у роботі використано методи системного аналізу науково-технічної літератури та технічної документації, методи аналітичного розрахунку для визначення параметрів технологічного обладнання та його енергоспоживання, а також принципи проектування систем автоматизованого керування технологічними процесами та електроприводами.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати роботи можуть бути використані інженерно-технічними службами ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» та інших підприємств галузі при розробці програм модернізації та підвищення енергоефективності виробничих ліній. Впровадження запропонованих рішень, зокрема використання частотно-регульованих приводів та енергоефективних двигунів, дозволить знизити питоме споживання електроенергії, зменшити собівартість продукції та, як наслідок, підвищити її конкурентоспроможність на ринку.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінок, вона містить 3 рисунків та 2 таблиць.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Виробництво мила є одним із фундаментальних хімічних процесів, що поєднує в собі класичну хімію та сучасні інженерні рішення. Актуальність теми магістерської роботи полягає у необхідності детального аналізу та оптимізації роботи електротехнологічних комплексів на вітчизняних підприємствах, як-от ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів». Підвищення ефективності виробництва, зниження енергоспоживання та забезпечення стабільно високої якості продукції є ключовими завданнями для будь-якого сучасного промислового об'єкта. Дослідження параметрів електрообладнання та технологічних процесів дозволяє виявити резерви для модернізації, впровадження систем автоматизації та підвищення конкурентоспроможності продукції.

Цей огляд літератури систематизує існуючі наукові та технічні знання, що є теоретичною основою для дослідження. Розглядаються хімічні та фізичні основи процесу омилення, аналізуються основні промислові методи виробництва, детально вивчається структура та принципи функціонування електротехнологічного комплексу, а також сучасні підходи до його автоматизації та оптимізації.

### 1.1 Хімічні та фізичні основи процесу омилення

В основі виробництва мила лежить хімічна реакція омилення (сапоніфікації). Це процес лужного гідролізу тригліцеридів - складних ефірів гліцерину та вищих жирних кислот, які є головним компонентом тваринних жирів та рослинних олій.

Загальне рівняння реакції при використанні гідроксиду натрію (NaOH) має вигляд (1.1):



де:

- $(\text{RCOO})_3\text{C}_3\text{H}_5$  — тригліцерид (жир);
- NaOH — гідроксид натрію (каустична сода);

- $\text{RCOONa}$  — натрієва сіль жирної кислоти (мило);
- $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$  — гліцерин (цінний побічний продукт).

Реакція є екзотермічною, тобто протікає з виділенням тепла, що необхідно враховувати при проектуванні системи охолодження реакторів для уникнення перегріву. Швидкість реакції залежить від кількох ключових факторів: температури, інтенсивності перемішування, концентрації реагентів та площі контакту між жировою та лужною фазами (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Схематичне зображення реакції омилення жирів.

*Сировинна база виробництва включає:*

- Жири та олії: Використовуються як тваринні (яловичий, свинячий жир), так і рослинні (пальмова, кокосова, соняшникова олії) жири, а також продукти їх переробки — жирні кислоти та саломас. Хімічний склад сировини (довжина ланцюга жирних кислот, ступінь ненасиченості) безпосередньо впливає на властивості кінцевого продукту: твердість, піноутворення, розчинність та мийну здатність.
- Луги: Найчастіше використовують гідроксид натрію ( $\text{NaOH}$ ) для виробництва твердого мила та гідроксид калію ( $\text{KOH}$ ) для отримання рідкого мила.

## **1.2 Аналіз основних промислових методів виробництва**

Історично склалося два основних методи промислового виробництва мила, які відрізняються організацією процесу та обладнанням.

*Періодичний (котловий) метод.* Це класичний спосіб, що здійснюється у великих миловарних котлах об'ємом у десятки кубічних метрів. Процес є циклічним і включає кілька стадій: завантаження жирів, поступова подача луку при нагріванні та перемішуванні до повного омилення (стадія варіння), обробка мильного клею розчином солі NaCl для відділення мила від гліцеринової води (стадія висолювання), та фінальне очищення (стадія шліфування). Незважаючи на гнучкість, цей метод є тривалим (кілька діб), потребує значних виробничих площ та є менш ефективним з точки зору енергоспоживання.

*Безперервний метод.* Сучасні великотоннажні виробництва, до яких належить і ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів», використовують переважно безперервні технології. Процес омилення відбувається не в котлах, а в спеціальних апаратах колонного типу (омилювальних вежах) при високій температурі (~250 °C) та тиску (~4 МПа). За таких умов реакція протікає значно швидше (20-30 хвилин). Процес повністю автоматизований: сировина безперервно подається в реактор, а продукти реакції так само безперервно відводяться, проходячи стадії сепарації, промивання та сушіння. Цей метод забезпечує вищу продуктивність, стабільну якість, кращу економіку процесу та менші енерговитрати.

Після отримання мильної основи будь-яким з методів, вона проходить фінішну обробку: сушіння до необхідної вологості, змішування з добавками (барвниками, віддушками, корисними компонентами) на пілір-машинах, гомогенізацію та надання форми на шнек-пресах (плоддерах), різання та штампування.

## **1.3 Структура та принципи функціонування електротехнологічного комплексу**

*Електротехнологічний комплекс (ЕТК) виробництва мила* – це сукупність

технологічного обладнання, електротехнічних пристроїв та систем керування, об'єднаних єдиним виробничим циклом. Його основними функціями є перетворення електричної енергії в інші види (теплову, механічну) для здійснення технологічних операцій.

*Ключовими елементами ЕТК у виробництві мила є:*

- Електроприводи насосного обладнання: Насоси-дозатори для точної подачі жирів та луку в реактор, а також транспортні насоси для перекачування в'язких мильних мас між апаратами. Ефективність цього вузла визначається правильним підбором потужності двигунів та використанням сучасних систем регулювання.
- Електроприводи перемішуючих пристроїв: Мішалки в реакторах (при котловому методі), змішувачі та пілір-машини для гомогенізації мильної маси з добавками. Від їхньої роботи залежить інтенсивність процесів тепло- та масообміну і, як наслідок, якість продукту.
- Електроприводи обладнання фінішної обробки: Це найбільш енергоємна частина комплексу. Шнек-преси (плоддери), що ущільнюють та формують мильний брусок, оснащені потужними електродвигунами (десятки кіловат). Їхня стабільна робота та можливість точного регулювання швидкості безпосередньо впливають на продуктивність лінії та якість поверхні мила.
- Системи нагріву та охолодження: Хоча основний нагрів у сучасних процесах здійснюється за допомогою пари, електричні системи використовуються для локального підігріву трубопроводів, ємностей, а також для живлення контрольно-вимірювальних приладів та систем автоматики, що керують тепловими процесами.
- Системи вакуумування: Вакуум-сушильні установки оснащені потужними вакуумними насосами з електроприводом, які створюють необхідне розрідження для ефективного видалення вологи з мила при

відносно низьких температурах.

Аналіз літератури показує, що до 70-80% усієї електроенергії у виробництві мила споживається саме електроприводами. Тому дослідження параметрів їхньої роботи є центральним завданням для підвищення енергоефективності всього комплексу.

#### **1.4 Комплексна система автоматизації виробництва мила**

Сучасний ЕТК неможливо уявити без комплексної системи автоматизації, яка будується за багаторівневим принципом:

*Нижній (польовий) рівень:* Включає датчики (температури, тиску, рівня, витрати) та виконавчі механізми (регулюючі клапани, частотні перетворювачі, пускачі).

*Середній (контрольний) рівень:* Основу складають програмовані логічні контролери (ПЛК). Вони збирають інформацію з датчиків, обробляють її відповідно до закладених алгоритмів (наприклад, ПД-регулювання температури) та видають команди на виконавчі механізми.

*Верхній (диспетчерський) рівень:* Реалізується за допомогою SCADA-систем, які забезпечують візуалізацію процесу на моніторі оператора, архівування даних, систему тривоги та можливість дистанційного керування.

Впровадження сучасних систем автоматизації дозволяє точно дотримуватися рецептури, стабілізувати параметри процесу, мінімізувати вплив людського фактора, підвищити безпеку виробництва та оптимізувати витрати сировини та енергії.

#### **1.5 Напрямки для оптимізації ЕТК миловарного виробництва**

Енергоефективність є одним з головних критеріїв оцінки досконалості виробництва. Аналіз наукових публікацій та технічної документації виділяє кілька ключових напрямків для оптимізації ЕТК миловарного виробництва:

*Застосування регульованого електроприводу:* Найбільший потенціал енергозбереження полягає у використанні перетворювачів частоти (ПЧ) для керування асинхронними двигунами насосів, конвеєрів та, особливо, шнек-пресів. ПЧ дозволяє плавно регулювати швидкість механізму відповідно до технологічної потреби, що значно знижує споживання електроенергії порівняно з нерегульованими приводами, особливо в режимах неповного завантаження.

*Використання енергоефективних двигунів:* Заміна застарілих електродвигунів на сучасні двигуни класів енергоефективності IE3 (Premium Efficiency) та IE4 (Super Premium Efficiency) дозволяє знизити втрати електроенергії в самому двигуні на 5-15%.

*Оптимізація технологічних режимів:* Шляхом аналізу даних, зібраних системою автоматизації, можна визначити оптимальні режими роботи обладнання, що забезпечують необхідну якість продукції при мінімальних енерговитратах.

*Впровадження систем компенсації реактивної потужності:* Установки з великою кількістю асинхронних двигунів споживають значну реактивну потужність. Використання конденсаторних установок дозволяє знизити втрати в мережах живлення та зменшити фінансові витрати на електроенергію.

## 1.6 Висновки до 1-го розділу

Виробництво мила є складним, багатоетапним процесом, що базується на хімічній реакції омилення. Сучасні підприємства, такі як ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів», віддають перевагу безперервним технологіям, які є більш продуктивними, енергоефективними та забезпечують стабільну якість продукції порівняно з традиційним котловим методом.

Центральним елементом виробництва є електротехнологічний комплекс (ЕТК), що об'єднує все технологічне обладнання. Аналіз показує, що ліву частку (до 70-80%) електроенергії в цьому комплексі споживають саме електроприводи насосів, змішувачів, а особливо - потужних шнек-пресів на етапі фінішної обробки. Відтак, оптимізація роботи цих вузлів є ключовим завданням для підвищення енергоефективності всього виробництва.

Сучасні системи автоматизації на базі ПЛК та SCADA-систем дозволяють не лише стабілізувати технологічні процеси та якість продукції, але й збирати дані для подальшого аналізу та оптимізації. Огляд літератури висвітлив основні шляхи модернізації ЕТК, серед яких пріоритетними є впровадження регульованих електроприводів на базі перетворювачів частоти, використання двигунів вищих класів енергоефективності (IE3, IE4) та оптимізація режимів роботи обладнання.

Таким чином, огляд підтверджує актуальність теми дослідження, оскільки підвищення енергоефективності ЕТК на миловарних підприємствах є комплексним завданням на стику хімічної технології, електротехніки та автоматизації, що безпосередньо впливає на конкурентоспроможність продукції.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВИРОБНИЦТВА МИЛА НА ПРАТ «ШОСТКИНСЬКИЙ ЗАВОД ХІМІЧНИХ РЕАКТИВІВ»

### 2.1 Опис методів виробництва мила

Виробництво мила є одним з найдавніших хімічних процесів, освоєних людством. В основі процесу лежить реакція омилення (сапоніфікації) – гідроліз складних ефірів жирних кислот (тригліцеридів), що є основною складовою тваринних та рослинних жирів, у присутності лугів. В результаті цієї реакції утворюються солі лужних металів та жирних кислот, які і є власне милом, та гліцерин – цінний побічний продукт.

Загальне рівняння реакції омилення тригліцеридів за допомогою каустичної соди (гідроксиду натрію) виглядає наступним чином (2.1):



де:

- $(\text{RCOO})_3\text{C}_3\text{H}_5$  – тригліцерид (жир);
- $\text{NaOH}$  – гідроксид натрію (каустична сода);
- $\text{RCOONa}$  – натрієва сіль жирної кислоти (мило);
- $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$  – гліцерин.

У промислових масштабах, зокрема на підприємствах рівня ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів», застосовуються вдосконалені та масштабовані методи, що дозволяють забезпечити високу продуктивність, стабільну якість продукції та ефективну утилізацію побічних продуктів.

Історично та технологічно виділяють два *основні методи* виробництва мила: періодичний (котловий) та безперервний.

*Періодичний (котловий) метод варіння мила*

Це класичний, перевірений часом метод, що здійснюється у великих металевих ємностях – миловарних котлах. Процес є періодичним, тобто сировина

завантажується партіями, проходить усі стадії обробки, і після завершення циклу вивантажується готова партія продукту. Цикл виробництва зазвичай займає кілька діб. Незважаючи на розвиток безперервних технологій, цей метод досі може застосовуватися для виробництва специфічних сортів мила, наприклад, господарського, або на лініях з меншою потужністю.

Технологічний процес за періодичним методом складається з кількох ключових *стадій*:

- Омилення жирової сировини. У миловарний котел, обладнаний системою парового обігріву та перемішувачем, завантажується підготовлена жирова суміш (тваринні жири, рослинні олії, жирозамінники). Сировина нагрівається гострою парою до температури 80-100 °С, після чого в котел поступово подається розчин каустичної соди. Реакція омилення є екзотермічною, тому важливо контролювати температуру для уникнення викиду маси. Процес ведеться при постійному перемішуванні до повного омилення жирів. В результаті утворюється однорідна в'язка рідина, що називається мильним клеєм. Мильний клей містить у собі мило (зазвичай 40-60%), воду, гліцерин, а також невелику кількість непрореагованого луку та домішок.
- Висолювання мильного клею. На цій стадії з мильного клею необхідно виділити мило та відокремити гліцерин. Це досягається шляхом обробки гарячого мильного клею концентрованим розчином електроліту, найчастіше кухонної солі (NaCl) або розчином їдкого натру. При введенні електроліту розчинність мила у воді різко знижується, і воно спливає на поверхню, утворюючи щільний шар, який називається мильним ядром. У нижньому шарі залишається вода, розчинений гліцерин, сіль та домішки. Ця рідина називається підмільним лугом. Підмильний луг відкачується з нижньої частини котла і направляється на подальшу переробку для вилучення цінного гліцерину та регенерації

солі. Процес висолювання може проводитись кілька разів для досягнення необхідної чистоти мила та максимального вилучення гліцерину.

- Шліфування мила. Після відділення основного об'єму підмильного лугу мильне ядро містить ще певну кількість домішок та надлишок електролітів. Для подальшого очищення проводиться стадія шліфування. Мило в котлі обробляється невеликою кількістю слабкого розчину лугу або води при кип'ятінні. Це дозволяє перевести домішки у водний розчин і остаточно очистити мило. В результаті шліфування утворюється шар чистого мила з вмістом жирних кислот 60-63%, яке називається сапонованим ядром, і невеликий шар підмильного лугу, який також відділяється.
- Усталення та сушіння. Готове ядрове мило перекачується з котлів у спеціальні ємності-форми або на охолоджувальні вальці. У процесі охолодження воно застигає, утворюючи великі блоки. Потім ці блоки ріжуться на шматки та направляються на сушіння. Сушіння є критично важливою операцією, оскільки вміст вологи у свіжому милі є занадто високим. Сушіння проводиться у спеціальних сушильних камерах (стрічкових, вакуумних) до досягнення стандартної вологості (для господарського мила – до 30%, для туалетного – 12-15%).

#### *Безперервні методи виробництва мила*

Для великотоннажних виробництв, якими характеризуються великі хімічні заводи, періодичні процеси є неефективними через велику тривалість циклу, значні ручні операції та великі виробничі площі. Тому в сучасній промисловості домінують безперервні методи, які дозволяють автоматизувати процес, значно скоротити його тривалість, покращити якість продукції та знизити енерговитрати.

Одним з найпоширеніших є метод безперервного омилення жирів у розпилювальному апараті (вежі).

- Підготовка та дозування сировини. Жирова сировина та розчин

каустичної соди безперервно і в точно заданій стехіометричній пропорції подаються насосами-дозаторами в систему. Перед змішуванням компоненти підігріваються в теплообмінниках до необхідної температури (жир до 120-130 °С, луг до 80-90 °С).

- Омилення. Підготовлені та нагріті потоки жиру і лугу під високим тиском подаються в спеціальний апарат – омилувальну вежу або реактор високого тиску. У реакторі при температурі близько 240-260 °С та тиску 4-5 МПа відбувається практично миттєве омилення жирів. Висока температура та тиск значно інтенсифікують процес, який займає всього 20-30 хвилин замість десятків годин у котловому методі. На виході з реактора отримують гарячий мильний клей.
- Сепарація та промивання. Гаряча суміш з реактора надходить у сепаратор, де відбувається відділення підмільного лугу (що містить гліцерин) від мильної маси. Далі мильна маса проходить через систему промивних колон, де вона в протитечії промивається гарячою водою для остаточного вилучення гліцерину та домішок.
- Сушіння та подальша обробка. Очищена мильна маса (сапоноване ядро) з концентрацією мила близько 60-65% подається на вакуум-сушильні установки. У вакуумі температура кипіння води значно знижується, що дозволяє ефективно видаляти вологу при відносно низьких температурах (70-80 °С), зберігаючи при цьому якість мила. Висушена до необхідної кондиції мильна стружка надходить на подальшу механічну обробку.

#### *Завершальні стадії виробництва (для всіх методів)*

Незалежно від методу отримання мильної основи, подальші стадії обробки є схожими і спрямовані на надання милу товарного вигляду.

- Змішування з добавками (пілірування). Висушена мильна стружка завантажується в змішувачі (пілір-машини), де в неї вводяться різноманітні добавки згідно з рецептурою: парфумерні композиції

(віддушки), барвники, антиоксиданти (для запобігання прогірканню), пластифікатори, пережирювальні добавки (ланолін, креми), а також специфічні компоненти (антибактеріальні, лікувальні тощо). Процес інтенсивного перемішування та перетирання в пілір-машині забезпечує гомогенізацію маси.

- Шнекування та формування бруска. Гомогенізована мильна маса надходить у шнек-прес (плоддер). Це потужна машина, де маса додатково ущільнюється, пластифікується і під високим тиском видавлюється через фільтру певного профілю у вигляді нескінченного бруска. Часто використовуються вакуумні шнек-преси, де з мильної маси видаляється повітря, що робить структуру мила більш щільною та прозорою.
- Різання та штампування. Мильний брусок, що виходить зі шнек-преса, автоматичним різальним апаратом розрізається на шматки заданого розміру та ваги. Потім ці шматки надходять на штампувальний прес, де їм надається остаточна форма та наноситься логотип виробника або інші рельєфні зображення.
- Пакування. Готові шматки мила подаються на пакувальну лінію, де вони загортаються в етикетку, складаються в коробки і готуються до відправки на склад.

Вибір конкретного методу виробництва на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» залежав би від проектної потужності лінії, асортименту продукції (господарське, туалетне, спеціальне мило) та вимог до економічної ефективності виробництва. Для великотоннажного виробництва стандартних сортів мила найбільш імовірним є використання безперервного методу як більш прогресивного та економічно вигідного.

## 2.2 Аналіз обладнання для виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів»

Електротехнологічний комплекс виробництва мила на сучасному хімічному підприємстві, яким є ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів», являє собою складну систему машин та апаратів, що забезпечують виконання всіх технологічних операцій – від підготовки сировини до пакування готової продукції. Аналіз цього комплексу доцільно проводити, виходячи з гіпотези про використання на заводі найбільш продуктивної, безперервної технології. Нижче наведено аналіз ключових одиниць обладнання та відповідні інженерні розрахунки.

Це серце виробничої лінії, де відбувається ключовий хімічний процес. Це апарат колонного типу, виготовлений з високоякісної нержавіючої сталі, здатної витримувати високі температури та тиск, а також агресивний вплив лугу.

*Технічні характеристики:*

- Тип: Вертикальний реактор витіснення.
- Робочий тиск: 4-5 МПа.
- Робоча температура: 240-260 °С.
- Об'єм: Залежить від продуктивності лінії.
- Матеріал: Нержавіюча сталь марки 12Х18Н10Т або аналог.

Аналітичний розрахунок:

А) Розрахунок продуктивності та об'єму реактора.

Припустимо, що завод виробляє 50 тонн мильної основи (з вмістом 63% жирних кислот) за добу.

Продуктивність лінії (G) в кг/год(2.2):

$$G=24\text{год}50000\text{кг}\approx 2083\text{кг/год} \quad (2.2)$$

Час перебування реакційної маси в реакторі ( $\tau$ ) для безперервного процесу становить близько 25 хвилин (0.417 год).

Середня густина реакційної маси ( $\rho$ ) при робочих параметрах становить приблизно  $850 \text{ кг/м}^3$ .

Необхідний робочий об'єм реактора ( $V$ ) розраховується за формулою(2.3):

$$V = \rho G \cdot \tau = 850 \text{ кг/м}^3 \cdot 2083 \text{ кг/год} \cdot 0.417 \text{ год} \approx 1.02 \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

З урахуванням коефіцієнта заповнення (зазвичай  $0.8-0.85$ ), повний геометричний об'єм реактора складе(2.4):

$$V_{\text{повний}} = 0.85V = 0.85 \cdot 1.02 \approx 1.2 \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

Б) Розрахунок потужності насосів-дозаторів.

Для подачі компонентів у реактор використовуються плунжерні насоси високого тиску. Необхідно два насоси: для жирової суміші та для розчину луѓу.

Припустимо, співвідношення жир:луѓ ( $40\%$  розчин) становить приблизно  $100:60$  за масою.

- Продуктивність насоса для жиру: .
- Продуктивність насоса для луѓу: .

Потужність ( $N$ ), необхідна для приводу насоса, розраховується за формулою (2.5):

$$N = \eta \cdot \rho Q \cdot P \quad (2.5)$$

де:

- $Q$  – продуктивність насоса,  $\text{кг/с}$
- $P$  – тиск, що створюється насосом,  $\text{Па}$  ( $5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ )
- $\eta$  – ККД насоса (приблизно  $0.8$ )
- $\rho$  – густина рідини,  $\text{кг/м}^3$  (для жиру  $\sim 900$ , для луѓу  $\sim 1400$ )

Потужність насоса для жиру (2.6):

$$Q_{\text{ж}} = 3600 \cdot 2083 \approx 0.58 \text{ кг/с} \quad (2.6)$$

$$N_{\text{ж}} = 0.8 \cdot 900 \text{ кг/м}^3 \cdot 0.58 \text{ кг/с} \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 4028 \text{ Вт} \approx 4.0 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

Потужність насоса для луѓу:

$$Q_{\text{л}}=3600 \cdot 1250 \approx 0.35 \text{ кг/с} \quad (2.8)$$

$$N_{\text{л}}=0.8 \cdot 1400 \text{ кг/м}^3 \cdot 0.35 \text{ кг/с} \cdot 5 \cdot 106 \text{ Па} \approx 1563 \text{ Вт} \approx 1.6 \text{ кВт} \quad (2.9)$$

Отже, для реакторного вузла необхідні два асинхронні електродвигуни для насосів-дозаторів з встановленою потужністю близько 5.5 кВт та 2.2 кВт відповідно (з урахуванням запасу потужності).

*Вакуум-сушильна установка*

Призначена для зневоднення мильної основи з 35-40% до 12-15% вологості. Складається з камери розпилення, вакуумного насоса, конденсатора пари та системи транспортування мильної стружки.

Технічні характеристики:

- Тип: Багатоступенева вакуум-сушильна камера.
- Продуктивність по випареній волозі: ~500-600 кг/год.
- Робочий вакуум: 8-10 кПа.
- Температура мила на вході: 120-140 °С.

Аналітичний розрахунок:

А) Розрахунок кількості випареної вологи.

На вхід установки надходить мильна маса з вологістю  $W_1=37\%$  (вміст мила 63%).

На виході – мильна стружка з вологістю  $W_2=13\%$ .

Продуктивність по сухій мильній основі ( $G_{\text{сух}}$ ) становить 2083 кг/год.

Кількість абсолютно сухої речовини (2.10):

$$M_{\text{сух}}=G_{\text{сух}} \cdot (1-100W_1)=2083 \cdot (1-0.37)=1312.3 \text{ кг/год.} \quad (2.10)$$

Маса мильної стружки на виході: .

Кількість вологи, що випаровується ( $W_{\text{вип}}$ ) (2.11):

$$W_{\text{вип}} = G_{\text{сух}} - G_2 = 2083 - 1508.4 = 574.6 \text{ кг/год.} \quad (2.11)$$

Б) Розрахунок потужності вакуумного насоса.

Потужність вакуумного насоса залежить від його продуктивності (об'єму відкачуваного газу) та ступеня створюваного вакууму.

Приблизна продуктивність насоса ( $Q_n$ ) для видалення такої кількості пари та неконденсованих газів може становити близько 15-20 м<sup>3</sup>/хв.

Потужність електродвигуна для водокільцевого вакуумного насоса такої продуктивності зазвичай становить 30-45 кВт.

*Пілір-машина (змішувач)*

Призначена для гомогенізації мильної стружки з парфумерними композиціями, барвниками та іншими добавками. Являє собою коритоподібний змішувач з двома Z-подібними лопатями, що обертаються назустріч одна одній.

Технічні характеристики:

- Тип: Змішувач періодичної дії.
- Об'єм завантаження: 500-1000 кг.
- Час циклу змішування: 15-20 хвилин.

Аналітичний розрахунок потужності приводу.

Потужність, що споживається змішувачем, залежить від об'єму завантаження, в'язкості матеріалу та швидкості обертання лопатей.

Для пілір-машини із завантаженням  $m=750$  кг мильної стружки потужність електродвигуна ( $N_{\text{п}}$ ) може бути розрахована за емпіричними формулами (2.12).

$$N_{\text{п}} = K \cdot V \cdot n \cdot \rho \quad (2.12)$$

де  $K$  - коефіцієнт, що залежить від конструкції,  $V$  - об'єм,  $n$  - частота обертання,  $\rho$  - густина.

Простіший шлях – використання питомих енерговитрат. Для змішування сипучих та в'язких матеріалів питомі витрати енергії складають 0.05 - 0.1

кВт·год/кг.

Прийmemo 0.08 кВт·год/кг. Продуктивність машини (з урахуванням часу завантаження/вивантаження ~ 25 хв) (2.13):

$$G_{п}=25хв750кг\cdot60годхв=1800кг/год. \quad (2.13)$$

Це відповідає загальній продуктивності лінії (з невеликим запасом).

Необхідна потужність(2.14):

$$N_{п}=1800кг/год\cdot0.08кгкВт\cdotгод=144кВт. \quad (2.14)$$

Це дуже високе значення. Розрахунок за моментом опору є більш точним. Однак, виходячи з аналогів, для Z-подібного змішувача з об'ємом 1 м<sup>3</sup> (що відповідає ~750-800 кг стружки), встановлена потужність приводу зазвичай становить 45-55 кВт.

#### *Шнек-прес (плоддер)*

Це ключове обладнання для формування кінцевої структури мила. Складається з одного або двох шнеків, що обертаються в циліндричному корпусі, вакуумної камери та формуючої фільери.

Технічні характеристики:

- Тип: Двошнековий вакуумний шнек-прес.
- Діаметр шнека: 200-300 мм.
- Продуктивність: до 2500 кг/год.

Аналітичний розрахунок потужності приводу.

Потужність приводу шнек-преса ( $N_{шп}$ ) витрачається на подолання сил тертя матеріалу об шнек та корпус, на його ущільнення та продавлювання через фільеру(2.15).

$$N_{шп}=N_{тр}+N_{ст}+N_{прод} \quad (2.15)$$

Розрахунок є складним, але на практиці потужність визначається діаметром

шнека та продуктивністю.

Для шнек-преса з діаметром шнека 250 мм та продуктивністю ~2000 кг/год, потужність головного електродвигуна складає 55-75 кВт. Додаткова потужність потрібна для приводу вакуумного насоса (~5-7 кВт).

*Різальна та штампувальна машини*

Це автоматичні пристрої, що працюють синхронно зі шнек-пресом.

•Різальна машина: Гільйотинного або роторного типу. Електропривід забезпечує рух ножа. Потужність невисока, зазвичай 1.5-3 кВт.

•Штампувальний прес: Кривошипно-шатунного типу. Створює зусилля для формування шматка мила. Потужність приводу залежить від зусилля пресування і становить 5-10 кВт.

*Загальна оцінка енергоспоживання комплексу*

Підсумовуючи потужності основного електротехнологічного обладнання для лінії продуктивністю ~2 т/год:

- Насоси високого тиску:  $5.5 + 2.2 = 7.7$  кВт
- Вакуум-сушильна установка (вакуумний насос): ~40 кВт
- Пілір-машина: ~50 кВт
- Шнек-прес: ~65 кВт
- Різальний та штампувальний автомати:  $3 + 7 = 10$  кВт
- Допоміжне обладнання (конвеєри, вентилятори, насоси підмільного лугу тощо): ~25 кВт

Сумарна встановлена потужність електрообладнання для такої лінії може становити(2.16):

$$P_{\text{сумарна}} \approx 7.7 + 40 + 50 + 65 + 10 + 25 = 197.7 \text{ кВт} \quad (2.16)$$

При коефіцієнті використання потужності  $K_v = 0.75$  та коефіцієнті потужності  $\cos(\varphi) = 0.85$ , розрахункове споживання електроенергії за годину роботи лінії складе(2.17):

$$W = P_{\text{сумарна}} \cdot K_{\text{в}} \approx 197.7 \cdot 0.75 \approx 148 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (2.17)$$

За добу безперервної роботи (24 год) споживання складе(2.18):

$$W_{\text{доба}} = 148 \cdot 24 = 3552 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (2.18)$$

Цей аналіз показує, що виробництво мила є енергоємним процесом, де основна частка електроенергії споживається на стадіях механічної обробки (змішування, пластифікація, пресування) та створення вакууму для сушіння. Для підприємства рівня ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» оптимізація роботи цього електротехнологічного комплексу, впровадження енергоефективних двигунів, частотних перетворювачів для регулювання продуктивності та автоматизованих систем керування є ключовим фактором зниження собівартості продукції.

### 2.3 Висновки до 2-го розділу

Для умов великотоннажного виробництва на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» найбільш доцільним та економічно обґрунтованим є використання **безперервного методу** виробництва мила. На відміну від класичного періодичного (котлового) методу, безперервна технологія забезпечує значно вищу продуктивність, стабільну якість продукції, скорочує тривалість виробничого циклу з кількох діб до десятків хвилин і дозволяє повністю автоматизувати процес, знижуючи енерговитрати та потребу у великих виробничих площах.

Аналіз електротехнологічного комплексу, розрахованого на продуктивність близько 50 тонн мильної основи на добу, показав, що виробництво мила є **енергоємним процесом**. Сумарна встановлена потужність основного технологічного обладнання для такої лінії становить приблизно **197.7 кВт**, а добове споживання електроенергії може сягати понад 3500 кВт·год.

Детальний розгляд обладнання виявив ключові вузли з точки зору енергоспоживання. Найбільш потужними споживачами електроенергії в технологічній лінії є:

**Шнек-прес (плоддер)**, потужність приводу якого складає 55-75 кВт.

**Пілір-машина (змішувач)** з потужністю приводу близько 45-55 кВт.

**Вакуум-сушильна установка**, де електродвигун вакуумного насоса має потужність 30-45 кВт.

Саме ці стадії — механічна обробка (змішування, пластифікація, пресування) та створення вакууму для сушіння — споживають основну частку електроенергії всього комплексу. Отже, оптимізація роботи цього обладнання є центральним завданням для підвищення енергоефективності. Впровадження сучасних енергоефективних двигунів та використання частотних перетворювачів для гнучкого регулювання продуктивності цих ключових механізмів є пріоритетним напрямком для модернізації та зниження собівартості кінцевої продукції.

## РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Проектування принципової схеми роботи обладнання

Принципова технологічна схема роботи комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» проектується на основі безперервного методу омилення жирів, що забезпечує високу продуктивність, стабільність якості та високий рівень автоматизації. Схема являє собою послідовний ланцюг технологічних апаратів, з'єднаних між собою трубопроводами та транспортними системами, що забезпечують безперервний потік матеріалу від сировини до готового продукту.

*Принципова блок-схема (табл. 3.1) технологічного процесу:*

Таблиця 3.1 Принципова блок-схема технологічного процесу

Блок	Етап процесу	Опис / Призначення
1	<b>Приготування сировини</b>	Очищення, топлення та дозування жирів (жирні кислоти або гліцериди) та лугу (розчин NaOH або KOH) у необхідних пропорціях.
2	<b>Безперервне омилення</b>	Жири та луг безперервно подаються у реактор (наприклад, трубу-реактор або колонний реактор), де відбувається реакція омилення при високій температурі та тиску з утворенням <b>мильного клею</b> (солей жирних кислот) та <b>гліцерину</b> .
3	<b>Промивання (Відокремлення гліцеринового лугу)</b>	Мильний клей змішується з розчином електроліту (сіллю), який висолює мило і відокремлює його від <b>підмильного лугу</b> , що містить більшу частину гліцерину. Гліцериновий луг відправляється на подальшу переробку.
4	<b>Нейтралізація та доопрацювання</b>	Промислове мило (ядрове) доочищається та готується до наступних етапів. За

		необхідності, додають компоненти для коригування складу.
5	<b>Сушіння (Вакуумна сушка)</b>	Рідке мило подається у вакуум-сушильну установку, де відбувається швидке випаровування надлишкової вологи. Утворюється <b>мильна стружка</b> (гранули) з низьким вмістом води (зазвичай 10-14%).
6	<b>Змішування та Фінішна обробка</b>	Мильна стружка подається в змішувачі ( <b>амальгаматори</b> ), де до неї додаються функціональні та естетичні компоненти: <b>барвники, ароматизатори, пережирюючі добавки</b> (наприклад, ланолін, олії), пластифікатори.
7	<b>Пресування (Екструзія та Плікування)</b>	Змішана маса подається в <b>екструдер (пліочний прес)</b> , який ущільнює її та формує суцільний брусок ( <b>мильний плік</b> ).
8	<b>Різання та Штапування</b>	Мильний плік ріжеться на окремі шматки заданої ваги, які потім проходять через <b>штапувальний прес</b> для надання кінцевої форми та нанесення маркування.
9	<b>Пакування та Складування</b>	Готові шматки мила упаковуються в індивідуальну та групову тару та відправляються на склад готової продукції.

#### 1. Вузол підготовки та дозування сировини:

*Сировинні ємності (Є-1, Є-2):* Процес починається з двох основних сировинних ліній. Ємність Є-1 призначена для зберігання підготовленої суміші жирів та олій. Ємність Є-2 містить концентрований розчин каустичної соди (NaOH). Обидві ємності оснащені датчиками рівня та температури.

*Насоси-дозатори (НД-1, НД-2):* З ємностей сировина подається високоточними плунжерними насосами-дозаторами. НД-1 подає жирову суміш, а НД-2 – розчин лугу. Продуктивність насосів регулюється автоматично для

підтримки точного стехіометричного співвідношення компонентів.

*Теплообмінники (ТО-1, ТО-2):* Перед подачею в реактор обидва потоки проходять через кожухотрубні теплообмінники, де нагріваються до заданої температури (жири до 120-130°C, луг до 80-90°C) за допомогою перегрітої пари.

*Вузол омилення та сепарації:*

Реактор омилення (Р-1): Нагріті компоненти під високим тиском впорскуються у вертикальний реактор колонного типу Р-1. Завдяки високій температурі (250°C) та тиску (4-5 МПа) реакція омилення відбувається майже миттєво (протягом 20-30 хвилин).

*Сепаратор (С-1):* Гаряча реакційна суміш (мильний клей) з реактора надходить у сепаратор-розширювач С-1, де тиск різко знижується. Це призводить до миттєвого випаровування частини води та відділення мильної маси від підмильного луку (гліцеринової води) за рахунок різниці густин. Підмильний луг з нижньої частини сепаратора відводиться на вузол регенерації гліцерину.

2. Вузол промивання та сушіння мильної основи:

*Промивні колони (К-1, К-2):* Мильна маса з сепаратора подається в систему протитечійного промивання, що складається з кількох колон, для остаточного видалення залишків гліцерину та домішок.

*Вакуум-сушильна установка (ВСУ-1):* Очищена та знесолена мильна основа з вологістю ~35% подається у вакуум-сушильну камеру. Тут шляхом розпилення в середовищі з глибоким вакуумом відбувається інтенсивне видалення вологи до кінцевого значення 12-15%. Висушена маса у вигляді дрібної стружки (чипсів) вивантажується з установки.

3. Вузол механічної обробки та пакування:

*Змішувач-пілірмашина (ЗМ-1):* Мильна стружка з ВСУ-1 надходить у Z-подібний змішувач періодичної дії. Сюди ж за допомогою мікродозаторів подаються необхідні добавки: парфумерна композиція, барвники, діоксид титану, пластифікатори тощо. Інтенсивне перемішування забезпечує їх рівномірний

розподіл в масі.

*Шнек-прес (плоддер) (ШП-1)*: Гомогенізована маса подається у двошнековий вакуумний плоддер. Тут вона додатково ущільнюється, пластифікується, з неї видаляються залишки повітря, і під високим тиском вона екструдується через фільтеру у вигляді безперервного бруска заданої геометричної форми.

*Різальний автомат (РА-1)*: Брусок мила, що виходить з плоддера, потрапляє на конвеєр і розрізається автоматичним ножом на шматки заданої довжини. Швидкість різання синхронізована зі швидкістю екструзії.

*Штампувальний прес (ПШ-1)*: Нарізані шматки надходять на роторний або кривошипний прес, де їм надається фінальна форма (овальна, прямокутна) та наноситься логотип виробника.

*Пакувальна лінія (ПЛ-1)*: Готові шматки мила по конвеєру передаються на пакувальний автомат, де загортаються в індивідуальну упаковку, після чого формуються групові упаковки (коробки).

Весь процес, від подачі сировини до виходу запакованої продукції, є безперервним та автоматизованим, що мінімізує ручну працю та забезпечує стабільність параметрів на кожному етапі.

### **3.2 Проектування електричної системи управління**

Для управління таким складним і багатокомпонентним технологічним процесом проектується сучасна розподілена система управління (рис. 3.2) (DCS – Distributed Control System) або система на базі потужних програмованих логічних контролерів (ПЛК). Така система забезпечує централізований моніторинг, автоматичне регулювання параметрів та безпечну роботу всього комплексу.

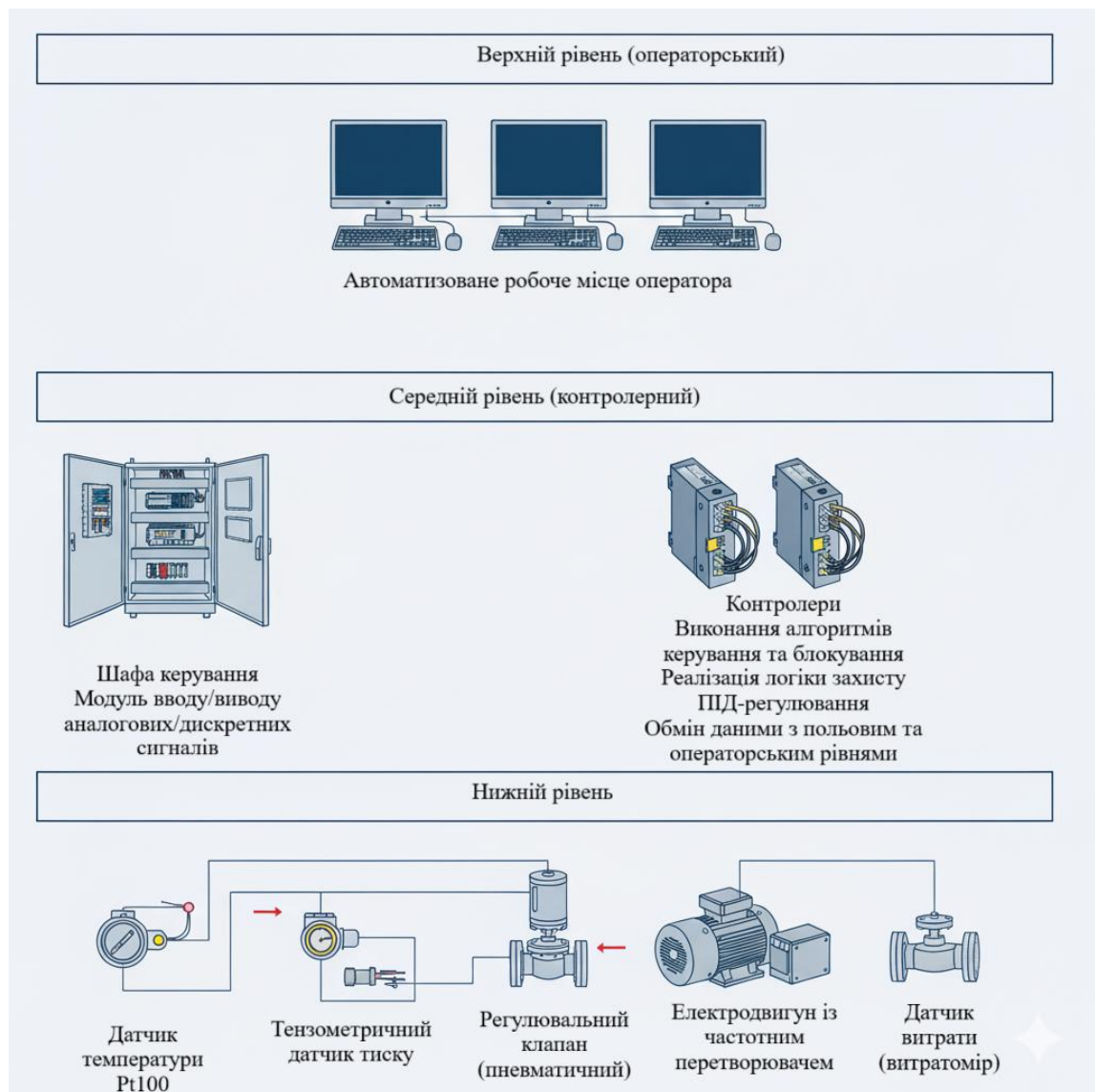


Рисунок 3.2 – Сучасна розподілена система управління

*Система має трирівневу ієрархічну структуру:*

Нижній (польовий) рівень:

Це рівень датчиків (сенсорів) та виконавчих механізмів, безпосередньо встановлених на технологічному обладнанні.

Засоби вимірювання:

Датчики температури: термопари (тип К, J) та терморезистори (Pt100) для контролю температури сировини, у реакторі, теплоносіїв та мильної маси.

Датчики тиску: тензометричні датчики для вимірювання тиску в реакторі, вакууму в сушильній установці та в лініях подачі сировини.

Витратоміри: електромагнітні або коріолісові витратоміри для точного вимірювання витрати рідких компонентів (жири, луг, вода).

Датчики рівня: ультразвукові або радарні рівнеміри для контролю заповнення сировинних ємностей та бункерів.

Виконавчі механізми:

Регулюючі клапани: пневматичні або електричні клапани для регулювання подачі пари в теплообмінники, води в промивні колони та сировини в реактор.

Електродвигуни: асинхронні трифазні двигуни, що приводять в дію насоси, мішалки, шнеки, конвеєри.

Частотні перетворювачі: пристрої для плавного регулювання швидкості обертання електродвигунів (насосів-дозаторів, шнек-преса, конвеєрів).

Середній (контролерний) рівень:

Основу цього рівня складають програмовані логічні контролери (ПЛК). Це "мозок" системи, що виконує логічні операції та алгоритми регулювання.

Функції ПЛК:

Збір даних: ПЛК опитує всі датчики нижнього рівня через модулі вводу аналогових (4-20 мА, 0-10 В) та дискретних сигналів.

Реалізація алгоритмів: В пам'яті ПЛК записана програма, що реалізує всю логіку процесу: підтримка співвідношення компонентів, реалізація ПІД-регулювання температури та тиску в реакторі, керування послідовністю операцій.

Управління виконавчими механізмами: На основі отриманих даних та закладеної логіки ПЛК формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів через модулі виводу.

Аварійні захисти та блокування: ПЛК відстежує вихід параметрів за допустимі межі та активує аварійну сигналізацію або зупинку обладнання для запобігання нештатним ситуаціям.

Верхній (операторський) рівень:

Цей рівень реалізується на базі SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition), яка є людино-машинним інтерфейсом (HMI).

Автоматизоване робоче місце оператора (АРМ-оператора): Це промисловий комп'ютер з одним або декількома моніторами, на яких відображається вся інформація про хід технологічного процесу.

Функції SCADA-системи:

Візуалізація: На екрані відображається динамічна мнемосхема всього комплексу, на якій в реальному часі показуються стани клапанів, робота двигунів, поточні значення всіх параметрів (температури, тиску, рівнів).

Управління процесом: Оператор має можливість дистанційно запускати та зупиняти обладнання, змінювати уставки (завдання) для регуляторів (наприклад, змінити температуру в реакторі).

Система тривоги (Alarms): При виникненні будь-якої нештатної ситуації система генерує звуковий та візуальний сигнал, привертаючи увагу оператора, та записує подію в архів.

Архівування даних та побудова графіків (Trends): Всі ключові параметри процесу безперервно записуються в базу даних. Це дозволяє аналізувати роботу обладнання за будь-який проміжок часу, будувати графіки та оптимізувати процес.

Така система управління забезпечує надійність, безпеку та економічну ефективність виробництва, дозволяючи випускати продукцію стабільно високої якості.

### **3.3 Проектування функціональної схеми базового електроприводу**

В якості базового електроприводу для аналізу оберемо електропривід головного двигуна шнек-преса (плоддера), оскільки він є одним з найбільш потужних та відповідальних механізмів у лінії, що вимагає точного регулювання швидкості для забезпечення стабільної якості та продуктивності.

Проектується система асинхронного регульованого електроприводу на базі перетворювача частоти (ПЧ) з векторним керуванням.

Функціональна схема (рис. 3.3) електроприводу складається з силової частини та системи керування.

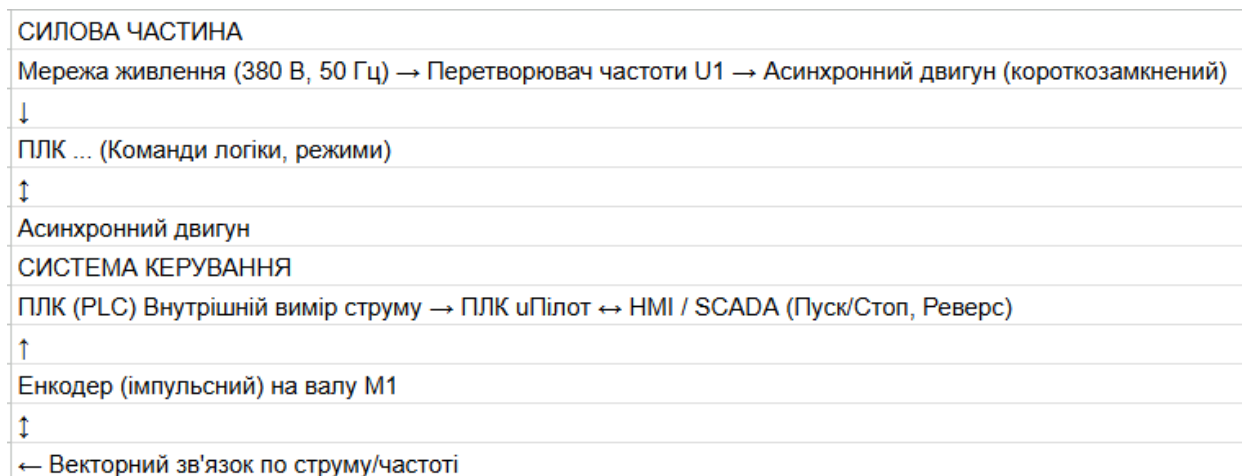


Рисунок 3.3 – Функціональна схема електропривода

Силова частина:

Мережа живлення: Трифазна мережа змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц.

Вхідний автоматичний вимикач (QF1): Забезпечує захист силового кола від коротких замикань та перевантажень, а також слугує для оперативного вмикання/вимикання живлення.

Перетворювач частоти (U1): Ключовий елемент системи, що перетворює мережеву напругу та частоту на регульовану напругу та частоту для живлення двигуна. Він складається з:

Некерованого випрямляча (В): Перетворює вхідну змінну напругу на постійну напругу.

Ланки постійного струму (Ф): Включає в себе конденсатори для згладжування пульсацій випрямленої напруги.

Автономного інвертора напруги (АІН): Побудований на IGBT-транзисторах. За командами системи керування він формує на виході трифазну напругу змінної частоти (від 0 до 50 Гц і вище) та амплітуди.

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (М1): Приводить в рух шнеки преса. Це надійний та простий в обслуговуванні двигун, ідеальний для роботи з частотним перетворювачем.

Система керування:

Мікропроцесорна система керування ПЧ: Вбудований контролер перетворювача частоти, що реалізує алгоритми керування.

Сигнали керування від ПЛК (PLC):

Дискретні сигнали "Пуск/Стоп", "Реверс": Подаються з виходів ПЛК на відповідні входи ПЧ для запуску та зупинки двигуна.

Аналоговий сигнал завдання швидкості (4-20 мА): З аналогового виходу ПЛК на аналоговий вхід ПЧ подається сигнал, пропорційний необхідній швидкості обертання шнека. Наприклад, 4 мА відповідає 0 об/хв, а 20 мА – максимальній швидкості.

Зворотні зв'язки:

Внутрішній зворотний зв'язок по струму: Вбудовані в ПЧ датчики струму контролюють струм двигуна, що дозволяє реалізувати ефективний захист від перевантаження та підтримувати необхідний момент на валу.

Зовнішній зворотний зв'язок по швидкості (опціонально, але рекомендовано): На вал двигуна М1 встановлюється імпульсний енкодер (Е). Сигнал з енкодера подається на спеціальний вхід ПЧ. Це дозволяє реалізувати векторне керування із замкнутим контуром швидкості. Такий режим забезпечує високу точність підтримки заданої швидкості незалежно від зміни навантаження (в'язкості мильної маси), а також дозволяє отримати максимальний момент на низьких обертах.

Принцип роботи:

Оператор на SCADA-системі задає необхідну продуктивність лінії. ПЛК,

виходячи з цього, розраховує необхідну швидкість обертання шнеків і формує відповідний аналоговий сигнал (наприклад, 15 мА) на виході. Цей сигнал надходить на перетворювач частоти U1. Мікропроцесорна система ПЧ обробляє цей сигнал і генерує імпульси для керування IGBT-транзисторами інвертора таким чином, щоб на виході ПЧ сформувалася напруга з частотою, що точно відповідає заданій швидкості. Двигун M1 розганяється до цієї швидкості. Енкодер E постійно інформує ПЧ про реальну швидкість, і якщо вона відхиляється від заданої, система керування миттєво коригує вихідну частоту, підтримуючи швидкість стабільною.

Така функціональна схема забезпечує гнучкість, точність, енергоефективність та високий ступінь захисту електроприводу, що є критично важливим для стабільної роботи всієї технологічної лінії.

### 3.4 Висновки до 3-го розділу

У третьому розділі було розроблено ключові проєктні рішення для електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів». Спроєктовано принципову технологічну схему, яка базується на сучасному безперервному методі виробництва. Ця схема послідовно описує всі етапи, починаючи від підготовки сировини, її омилення в реакторі високого тиску, промивання, вакуумного сушіння, і завершуючи механічною обробкою мильної стружки (змішування, пресування, різання та штампування) та пакуванням готової продукції.

Розроблено структуру сучасної розподіленої системи управління. Запропонована трьохрівнева ієрархічна система включає:

Нижній (польовий) рівень: датчики температури, тиску, рівня, а також виконавчі механізми, такі як регулюючі клапани та частотні перетворювачі.

Середній (контролерний) рівень: програмовані логічні контролери (ПЛК), що виконують основні алгоритми управління, регулювання та реалізують аварійні захисти.

Верхній (операторський) рівень: SCADA-система для візуалізації процесу, дистанційного керування, архівування даних та системи тривоги.

Спроєктовано функціональну схему електроприводу для найбільш енергоємного та відповідального вузла – шнек-преса (плоддера). Запропонована система на базі перетворювача частоти з векторним керуванням та зворотним зв'язком по швидкості від енкодера забезпечує:

Точне та плавне регулювання швидкості обертання шнеків відповідно до технологічних потреб.

Підтримку стабільної швидкості незалежно від зміни навантаження, що безпосередньо впливає на якість продукції.

Високу енергоефективність та надійний захист електродвигуна.

Таким чином, запропоновані в розділі рішення створюють основу для побудови сучасного, автоматизованого, енергоефективного та гнучкого виробництва мила, що дозволяє забезпечити стабільно високу якість продукції та оптимізувати виробничі витрати.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання охорони праці на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» є невід'ємною частиною організації виробничого процесу. Оскільки об'єктом дослідження є електротехнологічний комплекс виробництва мила, що включає обладнання під високим тиском, високими температурами та потужні електроустановки, забезпечення безпеки персоналу набуває пріоритетного значення.

### 4.1 Аналіз небезпечних факторів

Організація роботи з охорони праці на підприємстві базується на Законі України «Про охорону праці» та міжнародному стандарті ISO 45001. На ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» діє Система управління охороною праці (СУОП), яка передбачає триступеневий контроль, регулярне навчання та атестацію робочих місць.

Відповідно до технологічного процесу, описаного в попередніх розділах (використання реакторів омилення, вакуум-сушильних установок, шнек-пресів), на персонал можуть впливати наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори (згідно з ДСТУ 2293-99 та ГОСТ 12.0.003-74):

#### 1. Хімічні фактори:

Основною хімічною небезпекою є використання гідроксиду натрію (NaOH) — каустичної соди. Це їдка речовина 2-го класу безпеки.

•*Джерело:* Вузли підготовки та дозування лугу, трубопроводи подачі реагентів.

•*Ризик:* Потрапляння на шкіру викликає тяжкі хімічні опіки, потрапляння в очі може призвести до втрати зору. Також можливе ураження дихальних шляхів парами при розгерметизації системи.

#### 2. Фізичні фактори:

- Підвищена температура поверхонь обладнання: Технологічний процес омилення відбувається при температурах 240–260 °С, а сушіння мила — при 70–80 °С. Неізольовані частини реактора, трубопроводів пари та конденсату становлять ризик термічних опіків.

- Рухомі частини машин і механізмів: Шнек-преси (плоддери), мішалки, пілір-машини та ножі різальних автоматів є джерелами механічного травмування при контакті з ними.

- Підвищений рівень шуму та вібрації: Робота вакуумних насосів (потужністю 30–45 кВт), компресорів та приводів шнек-пресів створює шумове навантаження, що може перевищувати допустимі 80 дБА.

- Підвищена вологість повітря: Процеси випаровування вологи та можливі витіки пари створюють несприятливий мікроклімат.

### 3. Електронезбезпека:

Оскільки досліджується електротехнологічний комплекс із сумарною потужністю близько 197,7 кВт, ризик ураження електричним струмом є високим. Обладнання живиться від мережі змінного струму напругою 380 В, 50 Гц.

- *Джерела:* Клеми електродвигунів, шафи керування з частотними перетворювачами, кабельні лінії, пускорегулююча апаратура. Замикання фази на корпус внаслідок пошкодження ізоляції (через вологу або агресивне середовище) створює смертельну небезпеку для оператора.

## 4.2 Розробка заходів щодо забезпечення безпечних умов праці

Для мінімізації впливу виявлених небезпечних факторів та забезпечення безпечної експлуатації модернізованого електротехнологічного комплексу пропонуються наступні заходи:

*Організаційні заходи:*

- Проведення вступних, первинних, повторних та цільових інструктажів з

охорони праці та електробезпеки (група допуску не нижче II для операторів, не нижче III для електротехнічного персоналу).

- Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): для захисту від лугу — гумові кислотолугостійкі рукавички, захисні окуляри закритого типу, прогумовані фартухи; для захисту від шуму — протишумові навушники.

- Розробка технологічних карт та інструкцій з безпечного обслуговування частотно-регульованих електроприводів.

*Інженерно-технічні заходи:*

1. Електробезпека та захисне заземлення:

Для захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих корпусів обладнання (шнек-преса, шафи управління), які можуть опинитися під напругою, передбачається захисне заземлення. Згідно з ПУЕ, для установок напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю опір заземлюючого пристрою ( $R_z$ ) має бути не більше 4 Ом.

Розрахунок (кількісна оцінка):

Припустимо використання вертикальних електродів (стрижнів) довжиною  $l = 3$  м та діаметром  $d = 0,02$  м, забитих у ґрунт (суглинок, питомий опір  $\rho = 100$  Ом·м).

Опір розтіканню струму одного вертикального електрода ( $R_v$ ) визначається за формулою:

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (4.1)$$

При заглибленні  $t = 0,8$  м:

$$R_v \approx \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{2 \cdot 3}{0.02} \approx 30.2 \Omega \quad (4.2)$$

Необхідна кількість електродів ( $n$ ) без урахування екранування (коефіцієнт використання  $n \sim 1$ ):

$$n = \frac{R_v}{R_{norm} \cdot \eta} \quad (4.3)$$

Отже, необхідно встановити контур заземлення з мінімум 8 вертикальних електродів, з'єднаних металевою смугою, щоб забезпечити опір менше 4 Ом і гарантувати безпеку персоналу при пробі ізоляції в електродвигунах насосів чи пресів.

#### 2. Захист від механічних травм:

- Всі рухомі частини (муфти з'єднання двигунів з насосами, пасові передачі пілір-машин) повинні бути закриті суцільними або сітчастими металевими огороженнями.

- Шнек-прес повинен бути обладнаний системою блокування: при відкритті кришки бункера електропривід автоматично вимикається.

#### 3. Захист від термічних та хімічних факторів:

- Теплоізоляція гарячих поверхонь (реактор, парові труби) негорючими матеріалами так, щоб температура на поверхні ізоляції не перевищувала 45 °С.

- Встановлення місцевої витяжної вентиляції над місцями можливого виділення парів луку та мильного пилу.

- Автоматизація процесу дозування компонентів (впроваджена в розділі 3), що виключає безпосередній контакт людини з агресивними речовинами.

#### 4. Пожежна безпека:

Враховуючи наявність горючих матеріалів (жири, пакувальні матеріали) та електроустановок, приміщення цеху повинно бути обладнане автоматичною пожежною сигналізацією, вогнегасниками (порошковими ВП-5 або вуглекислотними ВВК-3,5 для гасіння електроустановок) та пожежними кранами.

### 4.3 Висновки до 4-го розділу

Проведений аналіз умов праці при експлуатації електротехнологічного комплексу виробництва мила показав наявність потенційних хімічних, електричних та механічних небезпек.

Впровадження запропонованих заходів, зокрема розрахованого контуру захисного заземлення ( $R < 4 \text{ Ом}$ ), використання засобів автоматичного захисту та блокування в системі управління, а також суворий контроль за використанням ЗІЗ, дозволить мінімізувати виробничі ризики. Це забезпечить відповідність умов праці вимогам чинного законодавства України та створить безпечне середовище для персоналу ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів».

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Економічне обґрунтування є завершальним етапом проектування, метою якого є визначення доцільності впровадження запропонованих технічних рішень. У попередніх розділах було встановлено, що електротехнологічний комплекс виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» є енергоємним об'єктом зі значним споживанням електроенергії.

Метою цього розділу є розрахунок економічної ефективності модернізації системи електроприводу (впровадження частотного регулювання для шнек-преса, змішувача та насосів) та системи автоматизації.

### 5.1 Розрахунок капітальних інвестицій

Капітальні інвестиції (К) включають витрати на придбання нового обладнання, демонтаж застарілих систем, монтаж нових засобів та налагоджувальні роботи.

Базуючись на аналізі обладнання у Розділі 2, основними об'єктами модернізації є приводи шнек-преса (~65 кВт), пілір-машини (~50 кВт) та вакуумного насоса (~40 кВт). Для них необхідно придбати перетворювачі частоти (ПЧ) та датчики для системи зворотного зв'язку (енкодери, датчики тиску).

Орієнтовний кошторис витрат на модернізацію наведено в Таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 – Кошторис капітальних витрат на модернізацію**

№ з/п	Найменування обладнання / робіт	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн	Примітка
1	Перетворювач частоти (для двигуна 75 кВт, шнек-прес)	1	120 000	120 000	Векторне керування
2	Перетворювач частоти (для двигуна 55 кВт, пілір-машина)	1	90 000	90 000	
3	Перетворювач частоти (для двигуна 45 кВт, вакуум-насос)	1	75 000	75 000	
4	Контролер ПЛК (середній рівень) та модулі вводу/виводу	1	60 000	60 000	Siemens/Sc hneider
5	Комплект датчиків (енкодери, тиск, температура)	1 к-т	40 000	40 000	3
6	Шафа керування та комутаційна апаратура	1	50 000	50 000	
7	Проектні та монтажні роботи (20% від вартості обладнання)	-	-	87 000	
<b>Всього</b>	<b>Капітальні інвестиції</b>			<b>522 000</b>	

Отже, загальна сума інвестицій становить 522 000 грн.

## **5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат та економії**

Основна економічна вигода досягається шляхом зниження споживання електроенергії. Згідно з аналізом літератури, впровадження частотно-регульованого електроприводу дозволяє знизити енергоспоживання на 20-30% шляхом оптимізації режимів роботи та усунення холостого ходу.

1. Вихідні дані для розрахунку:

- Сумарна потужність обладнання, що модернізується :  $65 + 50 + 40 = 155$  кВт (основні споживачі).

- Коефіцієнт використання потужності ( $K_v$ ): 0.75.

- Режим роботи підприємства: безперервний, 2 зміни по 12 годин, 300 робочих днів на рік.

- Річний фонд часу роботи ( $T_{рік}$ ):  $24 \times 300 = 7200$  годин.

- Тариф на електроенергію для промислових споживачів ( $C_{el}$ ): приймаємо 8,0 грн/кВт·год (середній прогноз на 2025 рік).

2. Розрахунок витрат до модернізації (Базовий варіант):

Річне споживання електроенергії ( $W_1$ ) розраховується за формулою:

$$W_1 = P_{sum} \cdot K_v \cdot T_{year} \quad (5.1)$$

$$W_1 = 155 \cdot 0.75 \cdot 7200 = 837000 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (5.2)$$

Річні витрати на електроенергію ( $C_1$ ):

$$C_1 = W_1 \cdot C_{el} = 837000 \cdot 8,0 = 6696000 \text{ грн} \quad (5.3)$$

3. Розрахунок витрат після модернізації (Проектний варіант):

За рахунок плавного регулювання швидкості шнек-преса та мішалок, а також стабілізації вакууму, прогнозується зниження споживання електроенергії на 15% ( $\Delta W\% = 0.15$ ).

Річне споживання після модернізації ( $W_2$ ):

$$W_2 = W_1 \cdot (1 - \Delta W\%) = 837000 \cdot (1 - 0.15) = 711450 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (5.4)$$

Річні витрати на електроенергію ( $C_2$ ):

$$C_2 = W_2 \cdot C_{el} = 711450 \cdot 8,0 = 5691600 \text{ грн} \quad (5.5)$$

4. Розрахунок річної економії:

Річна економія коштів (Ерік) становить:

$$E_{year} = C_1 - C_2 = 6696000 - 5691600 = 1004400 \text{ грн} \quad (5.6)$$

Окрім прямої економії електроенергії, модернізація забезпечує додатковий економічний ефект за рахунок:

- Зменшення зносу механічного обладнання (плавний пуск).
- Зниження відсотка браку продукції завдяки точній підтримці технологічних параметрів системою автоматизації.

### 5.3. Показники економічної ефективності

Для оцінки доцільності інвестицій розраховуємо термін окупності проєкту.

Термін окупності (Ток) — це час, необхідний для того, щоб сумарний прибуток від проєкту покрив суму інвестицій. Він розраховується за формулою:

$$T_{ok} = \frac{K_{inv}}{E_{year}} \quad (5.7)$$

Підставимо значення:

$$T_{ok} = \frac{522000}{1004400} \approx 0.52 \text{ року} \quad (5.8)$$

Переведемо в місяці:

$$0.52 \cdot 12 \approx 6.2 \text{ місяця} \quad (5.9)$$

Коефіцієнт економічної ефективності (Еef):

$$E_{ef} = \frac{1}{T_{ok}} = \frac{1}{0.52} \approx 1.92 \quad (5.10)$$

Нормативним для промислової автоматизації вважається коефіцієнт  $E_n \geq 0.15$  (або термін окупності до 6,6 років). Отримане значення 1.92 значно перевищує нормативне, що свідчить про високу ефективність проєкту.

#### **5.4 Висновки до 5-го розділу**

1. Виконано економічне обґрунтування проєкту модернізації електротехнологічного комплексу виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів».
2. Загальна сума капітальних інвестицій, необхідних для закупівлі частотних перетворювачів, контролерів та датчиків, становить 522 000 грн.
3. Впровадження регульованого електроприводу дозволить знизити річне споживання електроенергії на 125 550 кВт·год, що у грошовому еквіваленті забезпечує річну економію близько 1 004 400 грн.
4. Розрахунковий термін окупності проєкту становить 6,2 місяця. Такий короткий термін окупності пояснюється високою енергоємністю існуючого обладнання (шнек-преси, вакуумні насоси) та значним потенціалом енергозбереження при переході від нерегульованого приводу до частотного керування.
5. Проєкт є економічно вигідним та рекомендується до впровадження.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення енергоефективності електротехнологічного комплексу (ЕТК) виробництва мила на ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів». За результатами проведеного дослідження зроблено наступні висновки:

1. Аналіз технології та енергоспоживання. Встановлено, що для умов великотоннажного виробництва (50 тонн/добу) найбільш доцільним є використання безперервного методу омилення, який, на відміну від котлового, дозволяє автоматизувати процес та скоротити виробничий цикл з кількох діб до 20-30 хвилин. Енергетичний аудит показав, що виробництво мила є енергоємним процесом із сумарною встановленою потужністю обладнання 197,7 кВт та добовим споживанням понад 3500 кВт·год. Виявлено, що основними споживачами електроенергії (до 70-80%) є приводи шнек-преса (плоддера), пілір-машини та вакуумного насоса.

2. Розробка технологічних рішень. Спроектовано принципову технологічну схему лінії, яка включає вузли підготовки сировини, реактор омилення під тиском, систему промивання, вакуум-сушильну установку та лінію фінішної обробки. Це забезпечує стабільність параметрів якості продукції та мінімізацію втрат сировини.

3. Модернізація електроприводу та автоматизація. Розроблено трирівневу розподілену систему управління (DCS) на базі датчиків (польовий рівень), ПЛК (контролерний рівень) та SCADA-системи (диспетчерський рівень), що дозволяє реалізувати точне дозування та контроль температурних режимів. Для головного приводу шнек-преса спроектовано систему частотного регулювання з векторним керуванням та зворотним зв'язком за швидкістю (енкодер). Це рішення дозволяє підтримувати стабільний момент на валу незалежно від в'язкості мильної маси та забезпечує економію енергії за рахунок оптимізації обертів двигуна.

4. Охорона праці. Проведено аналіз небезпечних факторів, серед яких: хімічні опіки лугом, термічні опіки та ураження електричним струмом . Розраховано захисне заземлення: для забезпечення опору розтіканню струму менше 4 Ом необхідно встановити контур із мінімум 8 вертикальних електродів. Запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, що гарантують безпеку персоналу згідно з чинним законодавством.

5. Техніко-економічне обґрунтування. Розрахунки підтвердили високу економічну ефективність запропонованих рішень. Загальна сума капітальних інвестицій на закупівлю частотних перетворювачів та засобів автоматизації складає 522 000 грн. Очікувана річна економія електроенергії становить 15%, що у грошовому еквіваленті дорівнює 1 004 400 грн на рік<sup>10</sup>. Термін окупності проєкту становить 6,2 місяця, що робить модернізацію інвестиційно привабливою для підприємства.

Загальний висновок:

Реалізація проєкту дозволить ПрАТ «Шосткинський завод хімічних реактивів» знизити собівартість продукції, підвищити її якість та конкурентоспроможність, а також підвищити рівень безпеки виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Joe Jara-Vélez, Raúl Siche, Frank Fluker Velásquez-Barreto, Orlando Salazar-ampos, solina Lopez, Johonathan Salazar-Campos, Analytical optimisation of eco-friendly soap production using hyperspectral imaging and chemometric modelling of hysicochemical properties, *Microchemical Journal*, Volume 215, 2025, 114259, ISSN 0026-265X, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.114259>.
2. Singh RK, Acharya P, Modgil S (2020), "A template-based approach to measure supply chain flexibility: a case study of Indian soap manufacturing firm". *Measuring Business Excellence*, Vol. 24 No. 2 pp. 161–181, doi: <https://doi.org/10.1108/MBE-10-2018-0080>
3. Guoyue Luo, Qiang Zou, Soap Film-Inspired Subdivisional Lattice Structure Construction, *Computer-Aided Design*, Volume 189, 2025, 103950, ISSN 0010-4485, <https://doi.org/10.1016/j.cad.2025.103950>.
4. Gabriele Falciani, Luca Bergamasco, Agnese Amati, Gijsbert Verdoes, Indraneelen, Sylvestre Bonnet, Eliodoro Chiavazzo, Design and testing of a device for the haracterization of gas transfer through soap films and measurement protocol based on color matching, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 149, 2023, 107161, ISSN 0735-1933, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.107161>.
5. GeorgeR. Whalley, The manufacture of soaps, other detergents and glycerine: by E. Woollatt; published by Ellis Horwood, Chicester, 1985; 474 pp.; price, £55, *The Chemical Engineering Journal*, Volume 37, Issue 1, 1988, Page 61, ISSN 0300-9467, [https://doi.org/10.1016/0300-9467\(88\)80007-8](https://doi.org/10.1016/0300-9467(88)80007-8).
6. Spitz L. Soap Manufacturing Technology. 2nd ed. Waltham : AOCS Press, 2016. 532 p.
7. Boldea I., Nasar S. A. The Induction Machines Design Handbook. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2020. 1040 p.

8. Vas P. Sensorless Vector and Direct Torque Control. Oxford : Oxford University Press, 1998. 760 p.
9. Crowl D. A., Louvar J. F. Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. 4th ed. New York : Pearson, 2019. 700 p.
10. Patent US 10450532 B2. Continuous soap making process / Inventor: M. Smith. Assignee: Procter & Gamble. Publ. Date: Oct. 22, 2019..
11. Patent EP 2878654 A1. Energy efficient extruder drive system / Inventor: J. Mueller. Assignee: Siemens AG. Publ. Date: Jun. 3, 2015..
12. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
13. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги (EN 60204-1:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
14. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків (EN ISO 12100:2010, IDT).
15. Закони та НПАОП
16. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34-35. Ст. 458.
17. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. Ст. 668.
18. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4.
19. НПАОП 0.00-1.71-13. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. Затверджено наказом Міненерговугілля України від 19.12.2013 № 966.

20. Patent US 6475966 B1. Soap bar composition and method of manufacture / Inventors: L. Cao, et al. Assignee: Unilever Home & Personal Care USA. Publ. Date: Nov. 5, 2002.
21. Patent EP 2146816 B1. Vacuum extrusion device for soap finishing lines / Inventor: A. Ferrari. Assignee: Mazzoni LB. Publ. Date: Mar. 20, 2013.
22. IEC 60034-30-1:2014. Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code). Geneva : International Electrotechnical Commission, 2014.
23. IEC 61800-9-2:2017. Adjustable speed electrical power drive systems – Part 9-2: Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics and their driven applications. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2017.
24. Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery. Official Journal of the European Union. 2006. L 157. P. 24–86.
25. NFPA 70E. Standard for Electrical Safety in the Workplace. 2021 Edition. Quincy : National Fire Protection Association, 2020.