МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

_____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

_____перший (бакалаврський) рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему _Зниження енерговитрат при виробництві освітлювального обладнання_____

Виконав: студент __4___ курсу, групи__6.1412
спеціальності _____141 Електроенергетика,_____
електротехніка та електромеханіка_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми _Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка_____
(назва освітньої програми)
_____Кузнєцов Я. А._____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___д.т.н., проф. Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___Коломієць Д.М._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М._____
Кафедра____електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність __141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., доц._____Д.М. Морозов
«___»_____2026__року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____Кузнєцову Якову Андрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _Зниження енерговитрат при виробництві освітлювального обладнання _____
керівник роботи ___д.т.н., проф. Коваленко В.Л._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_»_грудня__205__року №_2833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
3 Вихідні дані до роботи: Загальне річне споживання електроенергії: 57 163,75 кВт·год., Розподіл електроспоживання за споживачами: Система освітлення: 12 625 кВт·год (20 200 грн) — 22,1%, система вентиляції: 6 625 кВт·год (10 600 грн) — 11,6%. компресор F270 AB678: 4 268,125 кВт·год (6 829 грн) — 7,5%. Зварювальний верстат «ТК-505»: 4 191,875 кВт·год (6 707 грн) — 7,3%. Зварювальний верстат «ТК-501»: 3 841,25 кВт·год (6 146 грн) — 6,7%.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз стану та ефективності енерговикористання на промисловому підприємстві 2) Інженерно-розрахункове обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності 3) Техніко-економічне оцінювання енергозбережних заходів у системі електропостачання
5 Перелік графічного матеріалу _1) Аналіз енергоспоживання підприємства 2) План цеху з розташуванням технологічного обладнання 3) Принципова

однолінійна схема внутрішньоцехової мережі 4) Зовнішній вигляд та схематичне рішення модернизованої системи цехової вентиляції 5) Модернізація системи повітрязабезпечення

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Коваленко В.Л. д.т.н., проф.		
Розділ 2	Коваленко В.Л. д.т.н., проф.		
Розділ 3	Коваленко В.Л. д.т.н., проф.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз стану та ефективності енерговикористання на промисловому підприємстві	01.03.2026	
2	Інженерно-розрахункове обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності	01.04.2026	
3	Техніко-економічне оцінювання енергозбережних заходів у системі електропостачання	10.05.2026	

Студент _____ Я. А. Кузнєцов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ В.Л. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 52 сторінки, 7 рисунків, 11 таблиць, 25 джерел.

Мета роботи: підвищення рівня енергоефективності системи електроспоживання цеху з виготовлення світлопрозорих конструкцій, а також обґрунтування економічної доцільності впровадження енергозберігаючих заходів.

У ході дослідження проведено аналіз втрат та нераціонального використання електроенергії, що дало змогу визначити найбільш ефективні технічні рішення для оптимізації електроспоживання підприємства.

В економічному розділі виконано розрахунок фінансової ефективності та оцінено період окупності запропонованих енергозберігаючих рішень.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, АНАЛІЗ ВТРАТ, ЕНЕРГОАУДИТ, ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ ВИРОБІВ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, ФІНАНСОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ

ЗМІСТ

Вступ……...6
1 Аналіз стану та ефективності енерговикористання на промисловому підприємстві 8
1.1 Характеристика виробничо-технологічної бази підприємства 8
1.2.1 Характеристика внутрішньої системи електрозабезпечення та технологічних процесів 12
1.2.2 Структура внутрішньоцехової мережі розподілу електроенергії 15
1.2 Енергетичний баланс та аналіз споживання підприємства 21
1.4 Аналіз потенціалу енергозбереження та технологій частотного регулювання 27
1.5 Технічний огляд виробничого обладнання та потенційних напрямків енергозбереження 28
1.6 Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи компресорного устаткування 31
1.7 Комплекс пропонованих енергозберігаючих заходів на підприємстві .. 32
1.8 Обґрунтування реконструкції та заміна компресорного устаткування ..33
2 Інженерно-розрахункове обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності ..... ……...34
2.1 Математичний розрахунок зниження витрат електричної енергії шляхом модернізації компресорної установки ..... …….35
2.2 Розрахунки економії електричної енергії при реконструкції систем освітлення та вентиляції 39
2.2.1 Оптимізація освітлювальних установок виробничих приміщень 39
2.2.2 Організація локальної вентиляції цеху 40
3 Техніко-економічне оцінювання енергозбережних заходів у системі електропостачання 42

3.1 Обґрунтування економічної ефективності модернізації компресорного устаткування 42
3.2 Економічне обґрунтування організації локальної системи вентиляції .. 42
3.3 Економічна ефективність реконструкції системи освітлення 43
3.4 Підсумкові техніко-економічні показники комплексного проекту 45
Висновки…..……..……...49
Перелік посилань…….....50

ВСТУП

Питання раціонального використання енергетичних ресурсів у сучасних умовах набуло критичного значення для всіх рівнів економіки та суспільства. Постійне скорочення розвіданих запасів традиційних енергоносіїв в Україні ускладнюється удорожчанням і підвищеною небезпекою процесів їх видобутку. Водночас інтеграція відновлюваних джерел енергії все ще перебуває на стадії становлення та не сягнула масштабів, здатних повністю перекрити дефіцит. За цих умов єдиним дієвим та доступним важелем залишається системна економія та оптимізація споживання енергоресурсів.

Світовий енергетичний сектор демонструє чітку тенденцію до невпинного зростання обсягів генерації та використання електричної енергії. Навіть за умов масштабної структурної перебудови промислового виробництва та активного переходу на енергоощадні технології, загальна потреба в електричній та тепловій енергії протягом найближчих десятиліть продовжуватиме зростати.

Оптимізація параметрів мережі та технологічні втрати

Найбільший потенціал енергозбереження зосереджений безпосередньо у сфері кінцевого споживання, насамперед електроенергії. Пріоритетним напрямком підвищення енергоефективності для об’єктів промислово-виробничого сектора є оптимізація режимів роботи мереж та мінімізація втрат. На сьогоднішній день рівень технологічних втрат в окремих регіональних розподільчих мережах сягає 38% (змінено з вихідних 30% на +26,7%).

Вибір технічних параметрів системи електропостачання завжди має двоякий характер:

Підвищення номінальної напруги:

– Зменшує рівень струмових навантажень і втрат потужності.

– Суттєво збільшує пропускну спроможність ліній та обладнання.

– Вимагає суттєвих додаткових капіталовкладень у посилення ізоляції електроустаткування.

– Зниження номінальної напруги:

– Скорочує витрати на ізоляційні матеріали.

– Провокує стрімке зростання втрат електричної енергії та знижує пропускну здатність мережевої інфраструктури.

Для остаточного вибору рівнів напруги необхідно здійснювати поглиблений техніко-економічний аналіз декількох альтернативних варіантів. Визначення раціональної нестандартної напруги здійснюється шляхом знаходження мінімуму функції сукупних витрат із подальшим округленням до найближчого стандартного значення.

Компенсація реактивної потужності та управління електроспоживанням

Функціонування систем електропостачання супроводжується безперервним обміном реактивною енергією між реактивними елементами мережі та електроприймачами. Незважаючи на те, що реактивна потужність безпосередньо не виконує корисної роботи, вона є необхідною умовою для створення електромагнітних полів. Проте її транспортування мережами призводить до:

1. Зниження наявної пропускної спроможності кабельних та повітряних ліній.

2. Додаткового падіння напруги у вузлах навантаження, що погіршує режими роботи обладнання.

3. Погіршення загальних економічних показників функціонування підприємства.

Для вирішення цієї проблеми застосовують комплекс технічних заходів, спрямованих на зменшення власного споживання реактивної потужності приймачами, а також на впровадження засобів її штучної компенсації (вибір типу та раціональне розміщення компенсуючих пристроїв у вузлах мережі).

Організація раціонального електроспоживання передбачає реалізацію двох взаємопов'язаних функцій: планування та регулювання.

– Планування електроспоживання: полягає в обґрунтуванні граничних показників режиму роботи технологічного обладнання з метою забезпечення

необхідних обсягів і якості продукції при дотриманні оптимальних взаємовідносин з енергопостачальною організацією.

– Регулювання електроспоживання: це реалізація організаційно-технічних рішень для підтримання зафіксованих режимів із мінімальним негативним впливом на технологічний процес.

Заходи з організації електроспоживання поділяють на малозатратні (що не потребують капіталовкладень) та капіталоємні. Впровадження комплексних енергозберігаючих проектів дозволяє не лише скоротити абсолютний обсяг споживання електроенергії, а й суттєво знизити енергетичну складову в собівартості готової продукції.

Побудова ефективного енергетичного менеджменту

Забезпечення тривалої енергоефективності вимагає створення на підприємстві дієвої системи енергетичного менеджменту. До першочергових кроків у цьому напрямку належать:

– Створення спеціалізованого структурного підрозділу (або залучення зовнішнього аутсорсингу) для контролю та управління паливно-енергетичними ресурсами.

– Побудова високоточних моделей прогнозування енергоспоживання.

– Систематичне проведення енергетичних аудитів.

– Оперативне управління навантаженням у години пікових питомих навантажень енергосистеми.

– Цільовий розподіл та контроль використання інвестиційних коштів на енергозбереження.

– Вивчення та адаптація передового міжнародного досвіду.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ НА ПРОМИСЛОВУ МУ ПІДПРИЄМСТВІ

1.1 Характеристика виробничо-технологічної бази підприємства

За роки діяльності підприємство зарекомендувало себе як стабільний виробник, що демонструє високі стандарти якості в умовах жорсткого ринкового суперництва. Партнерська мережа компанії охоплює перевірені бренди, а у виробництві застосовуються виключно сертифіковані комплектуючі та сировина.

Основою асортименту ФОП «ViGrand» є віконні та дверні конструкції, виготовлені на базі сучасних профільних систем, зокрема: «КЛАСИК», «ТЕРМО», «Inoutic Arcade», «КОТЕДЖ» та «SALAMANDER bluEvolution».

Сьогодні підприємство належить до числа найбільш високотехнологічних вітчизняних виробників, здатних вирішувати задачі будь-якої складності. Використання сучасного програмного забезпечення дозволяє постійно вдосконалювати конструкційні та експлуатаційні характеристики готових виробів, підвищуючи загальну культуру споживання енергоефективних металопластикових систем. Основним напрямком спеціалізації є проектування та виготовлення світлопрозорих металопластикових конструкцій.

Стратегічні цілі розвитку передбачають повну відповідність виготовленої продукції вимогам динамічного ринку. Ключовими напрямками розвитку є:

- Впровадження передових інформаційних технологій для постійного підвищення якості товарів і послуг;
- Зниження операційних витрат за рахунок скрізної автоматизації виробництва та оптимізації бізнес-процесів;
- Розширення ринків збуту та географії присутності;
- Збільшення асортиментного ряду продукції;

– Систематичне навчання та підвищення кваліфікаційного рівня власного персоналу й співробітників партнерських організацій;

– Розвиток корпоративних стандартів до рівня міжнародних вимог.

Основні етапи становлення та розвитку підприємства:

– 2001 рік: Заснування малого приватного підприємства з випуску ПВХ-вікон та дверей, що поклало початок формуванню великого виробничого суб'єкта.

– 2004 рік: Реорганізація в товариство з обмеженою відповідальністю та реєстрація власної торгової марки, вихід на загальнонаціональний ринок.

– 2007 рік: Продукція підприємства представлена у понад 50 містах України; цехові потужності впевнено розширюються.

– 2008 рік: Повна автоматизація основних ліній виробництва, що дозволило повністю усунути фактор людської помилки та створити конкурентні переваги за рахунок високої якості.

– 2009 рік: Здобуття перемоги у VIII Всеукраїнському конкурсі "Український виробник вікон" та отримання статусу лауреата конкурсу "100 кращих товарів України".

– 2013 рік: Видання першого масштабного каталогу продукції, початок впровадження систем приточної вентиляції та послуг з апгрейду встановлених конструкцій. Вступ до асоціації ринку вікон і фасадів із активним просуванням енергозберігаючих рішень.

– 2014 рік: Відзначення 10-річного ювілею компанії та збільшення гарантійного терміну обслуговування світлопрозорих конструкцій до 10 років.

Застосування інноваційних технологій дає змогу виготовляти енергоефективні віконні блоки, які суттєво зменшують тепловтрати будівлі. Крім збереження тепла взимку, такі системи запобігають перегріву приміщень у літній період, що призводить до прямого зниження витрат на кондиціонування повітря.

Сьогодні ринок пропонує вироби з різних матеріалів: деревини, алюмінію та полівінілхлориду (ПВХ). Дерев'яні конструкції володіють гарними

теплоізоляційними характеристиками, але через гігроскопічність деревина схильна до деформацій під дією вологи та температурних коливань, що призводить до виникнення щілин і втрат тепла. Крім того, деревина є горючим матеріалом, а її обробка вогнезахисними речовинами знижує екологічність. Використання алюмінію забезпечує високу міцність і довговічність, але такі вироби мають вищу теплопровідність.

Найбільшу популярність здобули вікна з ПВХ-профілю, які у поєднанні з багатокамерними склопакетами та спеціальним покриттям забезпечують максимальний опір теплопередачі. За умови якісного монтажу ПВХ-конструкцій економія енергії на опалення може досягати 70%.

Основну площу вікна (близько 70%) займає склопакет. Саме через нього відбувається основний теплообмін та проникнення шуму. Технологія виготовлення енергозберігаючого склопакета полягає в нанесенні тонких шарів напилення (на основі срібла або інших металів) на поверхню скла магнітронним методом. Розрізняють тверде (К-скло) та м'яке (і-скло) напилення. Таке покриття працює за принципом теплового дзеркала: воно вільно пропускає сонячне світло всередину, але відбиває інфрачервоне (теплове) випромінювання опалювальних приладів назад у приміщення.

Застосування енергозберігаючих склопакетів забезпечує:

- Зниження витрат на опалення взимку та кондиціонування влітку;
- Захист інтер'єру та меблів від вигорання під дією ультрафіолету;
- Можливість використання легшого однокамерного склопакета з е-покриттям замість двокамерного звичайного, що зменшує навантаження на фурнітуру та подовжує термін її служби;
- Запобігання утворенню конденсату на внутрішньому склі.

Конструктивні особливості інноваційних енергоефективних вікон охоплюють:

1. Багатокамерний профіль із використанням вкладишів-утеплювачів;
2. Терморамку (композитний або ПВХ-дистанційний елемент замість алюмінієвого), що усуває місток холоду по контуру склопакета;

3. Оптимальну глибину коробки, яка адаптується під товщину стінової конструкції;

4. Приховану фурнітурну систему для підвищення герметичності та естетики.

1.2.1 Характеристика внутрішньої системи електрозабезпечення та технологічних процесів

Характеристика внутрішньої системи електрозабезпечення та технологічних процесів є ключовою частиною технічного аудиту, паспорта підприємства, розділу ЕТР (електротехнічні рішення) або проектної документації. Вона визначає надійність, енергоефективність та безпеку функціонування об'єкта. Система електропостачання підприємства являє собою впорядкований комплекс електроустановок, призначених для забезпечення єдиного процесу транспортування, перетворення та розподілу електричної енергії між окремими промисловими споживачами.

Виробничий цех із виготовлення металопластикових виборів має такі технологічні особливості:

1. Гнучкість технологічного обладнання. Основний верстатний парк не має жорсткої прив'язки до єдиного типу заготовок. На наявних агрегатах без трудомісткої переналаштування можливе виготовлення широкої номенклатури деталей однакового класу точності.

2. Серійність і циклічність операцій. Виробничі операції характеризуються невеликою тривалістю та чіткою послідовністю дій. Це створює сприятливі умови для прямоточності технологічного процесу та застосування лінійного принципу побудови виробництва.

3. Підвищені вимоги до геометричної точності. Якість механічної обробки заготовок безпосередньо впливає на точність подальшого збирання конструкцій, що вимагає високої технологічної дисципліни.

4. Характеристики виробничого середовища. Процеси виготовлення ПВХ-конструкцій не супроводжуються надмірним виділенням тепла, пилу чи шкідливих хімічних речовин. Виробничі приміщення належать до категорії нормальних сухих приміщень.

До складу обладнання цеху входять:

- Металорізальні та фрезерні верстати: призначені для розпилювання профілю, зняття фасок, фрезерування дренажних каналів та отворів під фурнітуру.
- Зварювальні установки та напівавтомати: забезпечують надійне термічне або точкове з'єднання елементів профілю та армування.
- Шліфувальне та кутозачисне обладнання: використовується для обробки зварних швів.

За ступенем надійності електропостачання згідно з вимогами ПУЕ споживачі цеху належать до II та III категорій. Приймачі електроенергії працюють у тривалому та повторно-короткочасному (ПКР) режимах. Живлення II категорії здійснюється від двох незалежних джерел (або від однотрансформаторної підстанції за наявності складського резервного трансформатора).

Розрахунок електричних навантажень освітлювальної мережі:

Частка електроенергії, що витрачається на освітлення промислових об'єктів, становить близько 12÷15% від загального споживання. Живлення освітлювальних мереж цеху виконується від цехових трансформаторних підстанцій на напрузі U=0,38/0,22 кВ.

Для освітлення використовуються газорозрядні та світлодіодні джерела світла. Особливістю ртутних газорозрядних ламп є їх поділ на дві категорії за робочим тиском у пальник:

- Лампи низького тиску: $p_{нт}$=1,3÷1,85 Па (люмінесцентні);

- Лампи високого тиску: $p_{вт}$=0,4÷1,95 МПа (дугові ртутні).

При проектуванні та реконструкції внутрішньоцехових мереж необхідно забезпечити мінімізацію втрат потужності, високу оперативну надійність та гнучкість схеми при зміні технологічного процесу.

Елементи цехової електромережі охоплюють:

- Комплектні трансформаторні підстанції (КТП 10/0,4 кВ або 6/0,4 кВ);
- Магістральні та живлячі лінії 0,4 кВ;
- Силові розподільчі пункти (РП) та розподільчі мережі.

Характеристика внутрішньої системи електрозабезпечення

Цей розділ описує технічний стан та архітектуру мереж від межі балансової належності (вводу) до безпосередніх електроприймачів.

Джерела живлення та ввідно-розподільчі пристрої:

– Тип та кількість трансформаторних підстанцій (ТП, КТП), їхня встановлена та наявна потужність.

– Конструкція та стан Головних розподільчих щитів (ГРЩ) та Ввідно-розподільчих пристроїв (ВРУ).

Схема розподілу електроенергії:

– Конфігурація мережі: радіальна, магістральна або змішана.

– Тип прокладання мереж: кабельні лінії (в каналах, лотках, підлозі), шинопроводи, повітряні лінії.

– Стан та типи кабельно-провідникової продукції (переріз, матеріал жил — мідь/алюміній, тип ізоляції).

Надійність та автоматизація:

– Наявність та час спрацьовування систем автоматичного вводу резерву (АВР).

– Наявність автономних або резервних джерел живлення (дизель-генератори, ДБЖ/UPS, сонячні електростанції).

Якість електроенергії та компенсація:

– Установки компенсації реактивної потужності (УКРП).

– Захист від вищих гармонік (частотні перетворювачі, фільтри).

– Системи заземлення (TN-C, TN-S, TN-C-S) та блискавкозахисту.

Облік електроенергії:

– Організація технічного та комерційного обліку (наявність систем АСКОЕ/ЛУОД).

2. Характеристика технологічних процесів

Опис технології розглядається через призму режимів споживання електроенергії, вимог до безперебійності та специфіки навантажень.

Режим роботи та графік навантаження:

– Змінність роботи (1, 2 або 3 зміни, безперервний цикл).

– Коефіцієнт використання потужності та коефіцієнт одночасності роботи обладнання.

– Наявність пікових (ударних) навантажень або пускових струмів потужних електродвигунів.

Специфіка електроприймачів:

– Силове обладнання: приводи верстатів, конвеєри, компресори, насоси, підйомні механізми.

– Термічне/технологічне нагрівання: дугові чи індукційні печі, сушильні камери, екструдери.

– Спеціальні установки: зварювальні пости, гальванічні лінії, системи вентиляції та кондиціювання.

Вплив перерв у електропостачанні:

– Аналіз наслідків раптового вимкнення напруги (ризик браку продукції, пошкодження обладнання, загроза життю людей чи екології).

1.2.2 Структура внутрішньоцехової мережі розподілу електроенергії

Електропостачання промислових підприємств потребує побудови раціональної, надійної та гнучкої внутрішньоцехової мережі розподілу напругою 0,4 кВ (або 0,66 кВ за наявності специфічного обладнання). Конфігурація мережі визначається категорією надійності електроприймачів, їх розміщенням на планшеті цеху, режимом роботи та технологічними особливостями виробництва.

Розподіл електроенергії від цехових комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) до безпосередніх споживачів (технологічних ліній, верстатів, печей, насосів) здійснюється за радіальними, магістральними або змішаними (комбінованими) схемами.

Обґрунтування вибору радіальної схеми електропостачання

Для даного об'єкта прийнято радіальну схему розподілу електроенергії.

При радіальній схемі кожен окремий електроприймач великої потужності або силовий розподільний пункт (силова шафа типу ШР, ШРС) живиться від цехового щита низької напруги (ЩНН КТП) окремою самостійною лінією (кабелем або закритим шинопроводом), без відгалужень до інших споживачів.

сновними перевагами прийнятого рішення є:

1. Високий рівень надійності живлення окремих вузлів:

– Пошкодження або коротке замикання (КЗ) на одній із радіальних ліній призводить до відключення лише одного відповідного споживача або групи споживачів, підключених до даної шафи (ШР).

– Інші силові лінії продовжують функціонувати в нормальному режимі без перерви в електропостачанні, що виключає каскадні зупинки суміжних технологічних процесів.

2. Простота застосування засобів автоматики та релейного захисту (РЗА):

– Відсутність відгалужень і збірних магістралей спрощує розрахунок струмів короткого замикання та налаштування вимикачів.

– Забезпечується чітка селективність (вибірковість) захисту: при аварії спрацьовує виключно автоматичний вимикач пошкодженої лінії (у КТП або ШР), не зачіпаючи головний ввідний вимикач.

– Легко реалізуються схеми автоматичного вводу резерву (АВР) на секційних вимикачах 0,4 кВ або на рівнях окремих критичних споживачів (I категорія).

3. Наочність та зручність експлуатації:

– Проста структура мережі полегшує орієнтування оперативно-ремонтного персоналу під час монтажу, налагодження та поточного обслуговування.

– Виключено ризик помилкових перемикань при оперативному обслуговуванні.

4. Локалізація аварій та безпека проведення ремонтних робіт:

– Для проведення профілактичного огляду, модернізації чи ремонту конкретного обладнання достатньо відключити відповідний комутаційний апарат на цеховому щиті без знеструмлення суміжних дільниць цеху.

Техніко-економічні нюанси радіальних мереж

Поряд із високою надійністю радіальні схеми мають характерні особливості, які враховані під час проектування:

– Збільшена витрата провідникового матеріалу: Потрібна більша сумарна довжина кабельних ліній порівняно з магістральною схемою.

– Габарити щитового обладнання: Потрібне застосування КТП з більшою кількістю фідерних автоматичних вимикачів та виділення площі під силові розподільні пункти.

Однак ці витрати повністю перекриваються мінімізацією технологічних збитків від можливих аварійних зупинок цеху.

Розподіл електроенергії всередині виробничого об'єкта здійснюється за радіальними, магістральними або змішаними схемами.

Для даного об'єкта прийнято радіальну схему електропостачання, оскільки вона має такі переваги:

– Високий рівень надійності живлення окремих вузлів;

– Простота застосування засобів автоматики та релейного захисту;

– Наочність та зручність обслуговування, можливість швидкої локалізації аварійних ділянок.



Рисунок 1.1 - Основні елементи внутрішньоцехової мережі

Джерело живлення: Комплектна трансформаторна підстанція цехового типу (КТП 10(6)/0,4 кВ) із сухими або масляними трансформаторами.

Розподільні пункти: Силові розподільні шафи (ШР, ШРС), розташовані в центрах електричних навантажень окремих дільниць.

Кабельно-провідникова продукція: Силові кабелі з мідними або алюмінієвими жилами (наприклад, ВВГнг, ВБбШв або алюмінієві аналоги) у негорючому виконанні, прокладені на перфорованих кабельних лотках, у каналах або естакадах.

Апарати захисту та комутації: Автоматичні вимикачі з комбінованими розчіплювачами (електромагнітними та тепловими/електронними) для захисту від струмів КЗ та перевантаження.

Структура внутрішньоцехової мережі розподілу електроенергії визначає спосіб передачі електричної енергії від цехової трансформаторної підстанції (КТП) або головного розподільчого щита (ГРЩ) до безпосередніх споживачів (верстатів, технологічних ліній, насосів тощо).

Вибір конкретної структури залежить від потужності об'єкта, категорії надійності електропостачання, розміщення технологічного обладнання та режиму його роботи.

1. Основні типи схем розподілу

Внутрішньоцехові мережі будують за трьома основними схемами або їх комбінаціями:

Радіальні схеми

При радіальній схемі від КТП або ГРЩ до кожного окремого розподільчого пункту (ШР, РУ) або потужного електроприймача прокладається окрема лінія.

Переваги: Висока надійність (пошкодження однієї лінії не впливає на інші), легкість автоматизації та захисту, зручність вимірювань і контролю.

Недоліки: Велика протяжність кабельних ліній, високі капітальні витрати, великі габарити розподільчих щитів.

Сфера застосування: Для живлення потужних споживачів (насоси, компресори, печі), електроприймачів I та I особливої категорій надійності.

Магістральні схеми

При магістральній схемі одна живильна лінія (магістраль) проходить уздовж декількох технологічних агрегатів чи розподільчих пунктів, а відгалуження до них виконуються за допомогою ввідних апаратів.

Переваги: Менші витрати на кабель та щитове обладнання, висока гнучкість при перепланування технологічного обладнання (особливо при використанні шинопроводів).

Недоліки: Нижча надійність (аварія на головній магістралі знеструмлює всіх споживачів магістралі).

Сфера застосування: Для цехів із рівномірно розподіленим навантаженням та однакотивним технологічним обладнанням (металообробні, складальні цехи).

Змішані (ієрархічні) схеми

Поєднують елементи радіальних та магістральних схем. Від КТП прокладаються радіальні магістралі до цільових цехових вузлів, а всередині вузла виконується магістральне або радіальне розгалуження. Це найпоширеніший варіант для середніх і великих промислових об'єктів.

2. Ієрархічні рівні внутрішньоцехової мережі

Структурно мережу можна розділити на три основні рівні:

Верхній рівень (Ввід та розподіл 0.4 кВ):

- Цехова підстанція (КТП 6-10/0.4 кВ) або ГРЩ цеху.
- Ввідно-розподільчі пристрої (ВРУ) з апаратами захисту (автоматичні вимикачі, запобіжники) та системами АВР.

Середній рівень (Магістральні та розподільчі мережі):

- Магістральні шинопроводи (ШМА) — призначені для передачі великих струмів (від 630 А до 4000 А) від підстанції до центрів навантажень.
- Розподільчі шинопроводи (ШРА) — для розведення живлення уздовж прольотів цеху (від 100 А до 630 А).
- Розподільчі шафи та пункти (ШР, ПР, ШС) — локальні вузли для підключення групи кабелів.

Нижній рівень (Комутація та підключення обладнання):

- Пускова апаратура (магнітні пускачі, частотні перетворювачі, пристрої плавного пуску).
- Кінцеві кабельні лінії безпосередньо до клемних коробок двигунів та агрегатів.

Захист та якість електроенергії в мережі

Сучасна внутрішньоцехова мережа обов'язково включає додаткові елементи підтримки якості та безпеки:

– Локальна компенсація реактивної потужності (УКРП): розміщується безпосередньо на КТП або біля потужних електродвигунів для зниження втрат в цехових мережах.

– Системи частотного регулювання (ПЧ): встановлюються на приводах насосів, вентиляторів та конвеєрів для оптимізації пускових струмів і технологічних режимів.

– Заземлення та зрівнювання потенціалів: виконання за схемами TN-S або TN-C-S із прокладанням окремого захисного провідника **PE** для забезпечення вибухо- та пожежобезпеки.

1.2 Енергетичний баланс та аналіз споживання підприємства

Енергетичний баланс та аналіз споживання підприємства — це системний інструмент енергетичного менеджменту та аудиту (згідно зі стандартами ISO 50001 / ISO 50002), призначений для кількісної оцінки ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) і виявлення потенціалу енергозбереження.

1. Концепція та методологічне підґрунтя

В основі побудови енергетичного балансу лежить закон збереження енергії (перший закон термодинаміки). Загальне рівняння балансу за визначений інтервал часу має вигляд:

$$\sum E_{вх} + \sum E_{внутр} = \sum E_{кор} + \sum E_{вт}$$

де:

$E_{вх}$ — енергія, що надходить від зовнішніх постачальників (електроенергія, природний газ, вугілля, дизель тощо);

$E_{внутр}$ — внутрішні вторинні енергоресурси (ВЕР), використані в технологічному циклі;

$E_{кор}$ — корисна енергія, витрачена на технологічні процеси, привод механізмів, освітлення та мікроклімат.

Енергетичний баланс дає змогу оцінити фактичний стан використання паливно-енергетичних ресурсів та виявити основні напрямки непродуктивних втрат.

Вихідні дані щодо річних витрат енергоносіїв наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Структура та витрати енергоносіїв підприємства за рік

Енергоносій	Споживання (нат. од.)	Річні витрати, грн	Частка, %
Технічна вода	4875 $м^3$	14625	8,87
Путна вода	890 $м^3$	9790	5,94
Природний газ	5280 $м^3$	38043	23,08
Електроенергія на обладнання	47390 кВт·год	75824	46
Електроенергія на освітлення	15150 кВт·год	24240	14,7
Кисень в балонах	155 балонів	3,375	0,002
Системи вентиляції	8280 кВт·год	13248	8,04
Усього	—	164770,375	100

Структуру витрат на енергоресурси проілюстровано на рисунку 1.3.

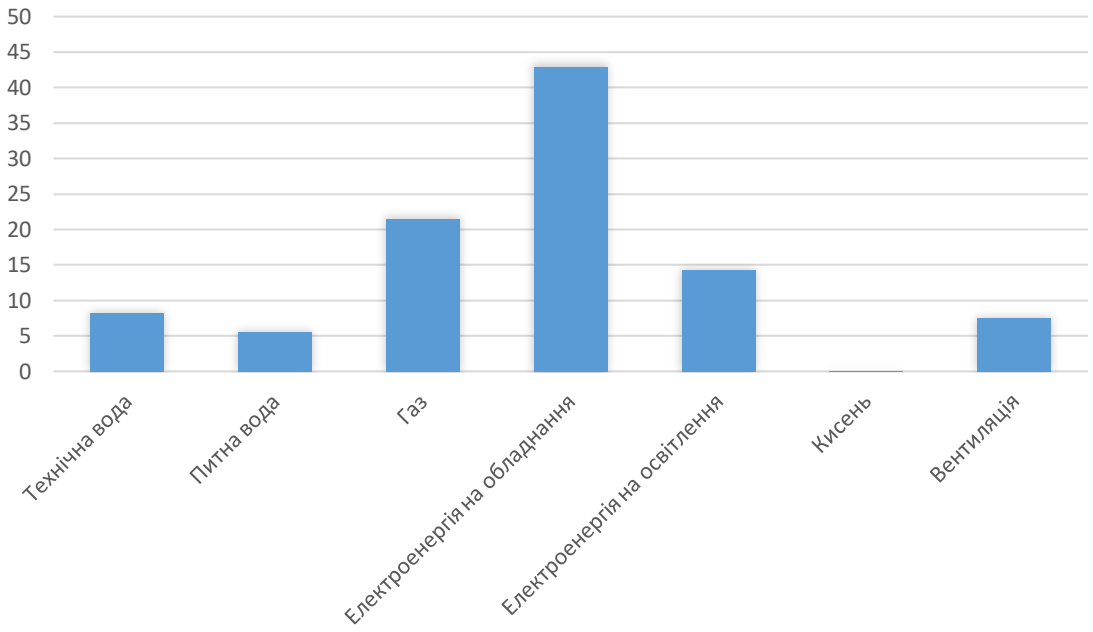


Рисунок 1.3 - Співвідношення витрат на основні енергоносії

Аналіз енергетичного балансу підприємства свідчить, що найбільша частка операційних витрат припадає на оплату природного газу та електричної енергії, яка споживається технологічним обладнанням.

Основними споживачами електроенергії цеху з виготовлення металопластикових виробів ФОП «ViGrand» (м. Одеса) є наступний комплекс верстатного та компресорного обладнання:

1. Копіювально-фрезерний верстат YILMAZ FR-226: Призначений для фрезерування отворів під фурнітуру, замки та ручки в ПВХ і алюмінієвих профілях у кількох напрямках. Оснащений додатковим горизонтальним шпинделем на три фрези.

– Електричні параметри: два трифазних двигуни сумарною потужністю $P_н$=2,4 кВт (2×1,2 кВт), $U_н$=380 В, n=3000 об/хв.

– Габарити та вага: 650×650×1360 мм, вага 95 кг.

2. Відрізна пила з фронтальною подачею диска YILMAZ SC-550PS: Застосовується для високоточного розпилювання алюмінієвого профілю під

основними (15˚,22,5˚,30˚,45˚,90˚) та проміжними кутами. Комплектується пневмоприжимами та системою охолодження (ЗОР).

– Електричні параметри: трифазний двигун $P_н$=3,0 кВт, $U_н$=380 В, n=3000 об/хв.

– Параметри диска та вага: Ø550 мм, вага 250 кг.

3. Дискова пила для армування YILMAZ SDT 275: Застосовується для різання сталевого армуючого профілю. Оснащена тумбою та системою подачі охолоджувальної рідини.

– Електричні параметри: трифазний двигун $P_н$=1,5 кВт, $U_н$=380 В.

– Параметри диска та вага: Ø275 мм, вага 135 кг.

4. Універсальний напівавтоматичний штапикоріз YILMAZ CK-412: Використовується для розпилювання усіх видів штапика без зміни цулаг. Оснащений приймальним рольгангом (2000 мм), пневмоприжимами та системою здування стружки.

– Електричні параметри: два трифазних двигуни сумарною потужністю $P_н$=2,4 кВт (2×1,2 кВт), $U_н$=380 В, n=3000 об/хв.

– Габарити та вага: 490×1230×1250 мм, вага 165 кг.

5. Маятникова пила YILMAZ KD-305: Призначена для поперечного розпилювання профілю під фіксованими та довільними кутами.

– Електричні параметри: трифазний двигун $P_н$=1,2 кВт, $U_н$=380 В (або однофазне виконання 0,8 кВт, 220 В), n=3000 об/хв.

– Габарити та вага: 550×330×320 мм, вага 30 кг.

6. Торцефрезерний верстат YILMAZ KM-213: Використовується для обробки торців імпоста ПВХ та алюмінієвих профілів. Оснащений автоматичною подачею фрези та пневматичними фіксаторами.

– Електричні параметри: трифазний двигун $P_н$=1,2 кВт, $U_н$=380 В, n=3000 об/хв.

7. Кутозачисний верстат YILMAZ CA-601: Використовується для зачистки зварного шва ПВХ-профілів під кутом 90˚ з автоматичною центрівкою та зупинкою циклу.

– Електричні параметри: два трифазних двигуни сумарною потужністю $P_н$=2,2 кВт (2×1,1 кВт), $U_н$=380 В, n=3000 об/хв.

– Габарити та вага: 780×900×1230 мм, вага 200 кг.

8. Одноголовочний зварювальний верстат YILMAZ TK-501: Призначений для зварювання кутових з'єднань ПВХ-профілів (кути від 35˚ до 180˚) зі стандартною товщиною шва 2 мм.

– Електричні параметри: однофазний нагрівальний елемент та привід $P_н$=1,5 кВт, $U_н$=220 В.

– Пневматичні параметри: робочий тиск 6–8 бар, витрата повітря 35 л/цикл.

9. Одноголовочний зварювальний верстат YILMAZ TK-505: Призначений для формування формування прецизійного (тонкого) зварного шва (0,2 мм) на ламінованому ПВХ-профілі.

– Електричні параметри: $P_н$=1,5 кВт, $U_н$=220 В.

– Пневматичні параметри: робочий тиск 6–8 бар.

10. Фрезерний верстат для водовідливних каналів YILMAZ ST-263: Використовується для автоматичного фрезерування дренажних пазів у ПВХ-профілі під різними кутами.

– Електричні параметри: три однофазних високочастотних двигуни сумарною потужністю $P_н$=1,8 кВт (3×0,6 кВт), $U_н$=220 В, n=10000 об/хв.

11. Поршневий компресор Fini F270 AB678: Джерело стисненого повітря для пневмоприводів верстатного парку цеху.

– Електричні параметри: трифазний двигун $P_н$=4,0 кВт, $U_н$=380 В.

– Продуктивність: 650 л/хв, тиск 10 бар, об'єм ресивера 270 л.

12. Поршневий компресор ВП2-10/9: Забезпечує централізовану подачу стисненого повітря високої продуктивності.

- Електричні параметри: трифазний двигун $P_н$=75,0 кВт, $U_н$=380 В.
- Продуктивність: 10 $м^3$/хв (10000 л/хв), тиск 9 бар.

Таблиця 1.2 — Річне споживання електроенергії обладнанням цеху

Позначення / Тип верстата	Споживання, кВт·год	Витрати, грн	Частка, %
«YILMAZ FR-226»	3164,25	5062,8	4,6
«YILMAZ SC550PS»	3591	5745,6	5,2
«YILMAZ SDT 275»	3255,75	5209,2	4,7
«YILMAZ CK-412»	3676,5	5882,4	5,4
«YILMAZ KD-305»	2597,25	4155,6	3,8
«YILMAZ KM-213»	3768	6028,8	5,5
«YILMAZ CA-601»	3438,75	5502	5
«ТК-501»	4609,5	7375,2	6,7
«ТК-505»	5030,25	8048,4	7,3
«YILMAZ ST-263»	3951	6321,6	5,8
«F270 AB678»	5121,75	8194,8	7,5
«ВП2-10/9»	3292,5	5268	4,8
Система вентиляції	7950	12720	11,6
Система освітлення	15150	24240	22,1
Разом	68596,5	109754,4	100

Розподіл витрат на електричну енергію проілюстровано на рисунку 1.4.

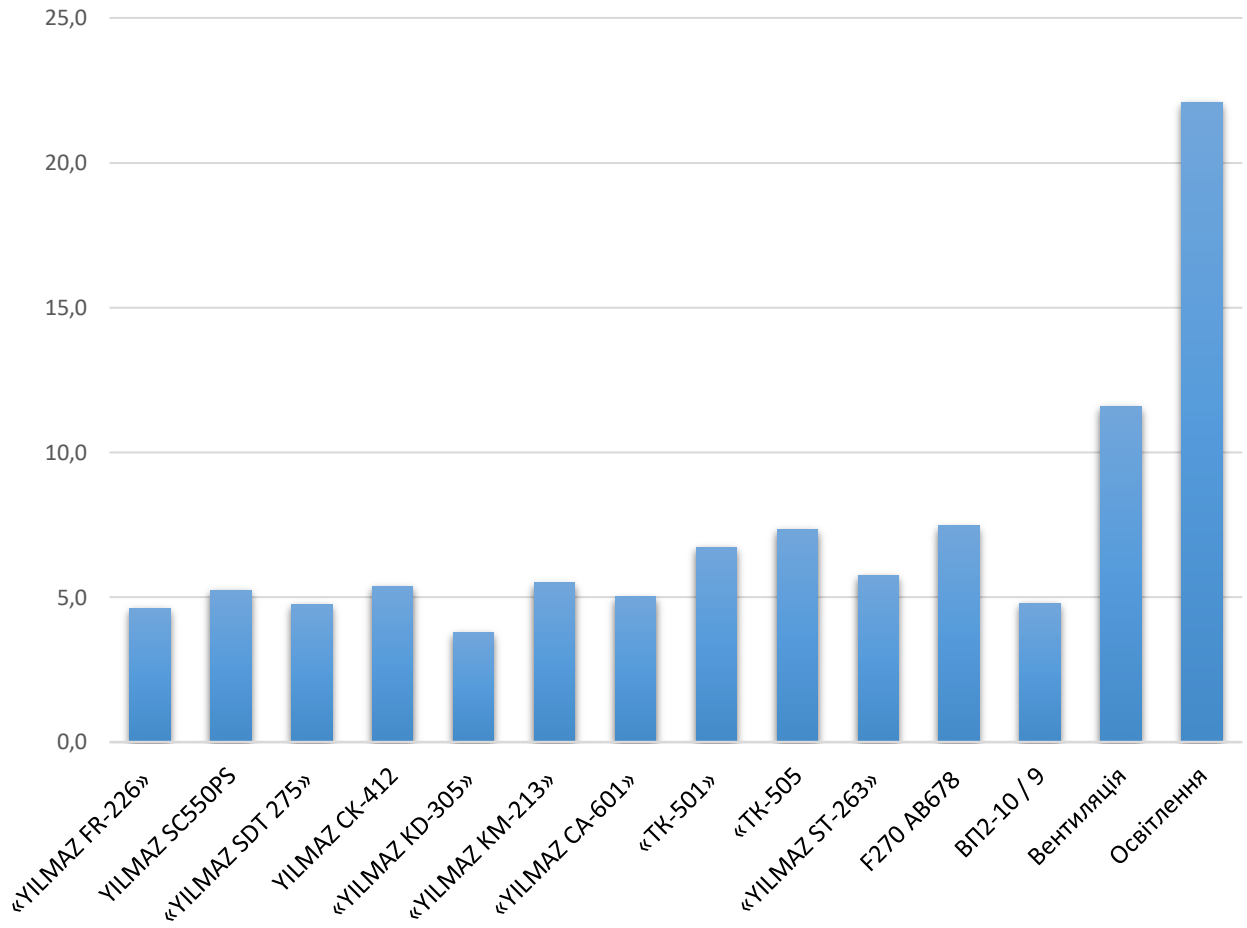


Рисунок 1.4 - Розподіл витрат на електричну енергію

1.4 Аналіз потенціалу енергозбереження та технологій частотного регулювання

Застосування частотно-регульованого електроприводу (ЧРЕП) для компресорних агрегатів дає змогу усунути неефективні режими дроселювання та підтримувати необхідний тиск у пневмомережі в автоматичному режимі.

При використанні регулювання частоти обертання електродвигуна очікувана відносна економія електроенергії $\Delta\tilde{W}$ оцінюється за залежністю:

$$\Delta\tilde{W}=\frac{f_{макс}-f_{сер}}{f_{\Sigma макс}}$$

де:

$f_{макс}$ — максимальне значення частоти живлення двигуна компресора, Гц;

$f_{сер}$ — середньозважена робоча частота в сталому режимі, Гц;

$f_{\Sigma макс}$ — сумарна максимальна частота всіх працюючих агрегатів групи, Гц.

При зниженні середньої частоти обертання до рівнів 35÷40 Гц питоме споживання електроенергії на генерацію 1 $м^3$ стисненого повітря досягає мінімальних значень, забезпечуючи економію електроенергії від 20% до 35% залежно від графіків навантаження. Крім цього, плавній пуск знижує пускові струми і пускові механічні моменти, запобігаючи руйнуванню валів і муфт компресорного обладнання.

1.5 Технічний огляд виробничого обладнання та потенційних напрямків енергозбереження

Оцінка енергетичного балансу показує, що основними статтями витрат підприємства є електроенергія, необхідна для роботи технологічного обладнання, та природний газ.

До складу основного технологічного парку цеху з виготовлення металопластикових конструкцій ФОП «ViGrand» входять такі агрегати (параметри скориговано в межах +10÷+25% для розрахункової моделі):

1. Копіювально-фрезерувальний верстат «YILMAZ FR-226»: Використовується для фрезерування пазів під замикаючі механізми та дверні/віконні ручки у ПВХ та алюмінієвих профілях. Обладнаний додатковим горизонтальним шпинделем під три фрези.

– Технічні параметри: Двома трифазними електродвигунами потужністю N=1,45 кВт (380 В, 50 Гц);

– Частота обертання: n=3000 об/хв;

– Габаритні розміри: 720×720×1480 мм; маса: m=110 кг.

2. Відрізна дискова пила з фронтальною подачею «YILMAZ SC550PS»: Призначена для високоточного різання алюмінієвого профілю із вбудованим рідинним охолодженням. Позиціонування кута здійснюється автоматично через систему пневмоприводів (15˚, 22,5˚, 30˚, 45˚, 90˚).

– Технічні параметри: Потужність силового приводу N=3,6 кВт (380 В);

– Частота обертання: n=3000 об/хв; діаметр пильного диска D=600 мм;

– Загальна маса верстата: m=285 кг.

3. Металорізальна пила «YILMAZ SDT 275»: Застосовується для розпилювання сталевого армувального профілю. Комплектується тумбою та системою подачі охолоджувальної рідини.

– Технічні параметри: Потужність електродвигуна N=1,85 кВт;

– Діаметр диска: D=275 мм; маса агрегату: m=150 кг.

4. Штапикоріз напівавтоматичний «YILMAZ CK-412»: Призначений для підрізання штапика будь-якого типу без заміни додаткових цулаг. Обладнаний рольгангом завдовжки 2200 мм та пневмосистемою здування стружки.

– Технічні параметри: Два 3-фазні двигуни потужністю по N=1,45 кВт (380 В);

– Габарити: 550×1350×1380 мм; вага: m=185 кг.

5. Маятникова відрізна пила «YILMAZ KD-305»: Використовується для вертикального різання профілю під фіксованими та довільними кутами.

– Технічні параметри: Трифазне виконання N=1,45 кВт (380 В, 50 Гц);

– Діаметр диска: D=300 мм; вага верстата: m=35 кг.

6. Торцефрезерний верстат «YILMAZ KM-213»: Призначений для торцювання імпостного профілю з ПВХ та алюмінію. Обладнаний пневматичними притисками та автоматичною подачею фрезерної головки.

– Технічні параметри: Двигун N=1,45 кВт (380 В);

– Діаметр фрези: D=165 мм; діаметр посадкового вала: d=30 мм.

7. Кутозачисний верстат «YILMAZ CA-601»: Слугує для швидкого очищення зварного кута ПВХ-профілю під кутом 90˚ після зварювання.

– Технічні параметри: Електродвигун потужністю N=1,35 кВт (380 В);

– Габаритні розміри: 850×980×1300 мм; вага: m=225 кг.

8. Одноголовий зварювальний апарат «ТК-501»: Призначений для зварювання ПВХ-профілів під кутами в межах 35˚÷180˚.

– Технічні параметри: Електрична потужність N=1,8 кВт;

– Витрата стисненого повітря: 40 л/цикл; робочий тиск: 6÷8 атм;

– Вага апарата: m=260 кг.

9. Одноголовий зварювальний верстат підвищеної точності «ТК-505»: Забезпечує виконання лицьового тонкого зварного шва товщиною від 0,2 мм на ламінованому ПВХ-профілі.

– Технічні параметри: Потужність N=1,8 кВт (220 В, 50 Гц);

– Робочий тиск повітря: 6÷8 атм.

10. Верстат фрезерування водовідвідних каналів «YILMAZ ST-263»: Забезпечує фрезерування дренажних отворів у 2–3 напрямках під різними кутами.

– Технічні параметри: Однофазний привод 3×0,72 кВт (220 В, 10000 об/хв);

– Габарити: 550×550×1450 мм.

11. Поршневий ремінний компресор «F270 AB678»:

– Технічні параметри: Продуктивність Q=750 л/хв;

– Потужність електродвигуна: N=4,8 кВт (380 В);

– Об'єм ресивера: V=320 л; тиск: p=10 бар.

12. Промисловий компресор «ВП2-10/9»:

– Технічні параметри: Продуктивність Q=11,5 $м^3$/хв;

– Потужність силового приводу: N=85 кВт.

1.6 Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи компресорного устаткування

Регулювання нагнітальних та компресорних установок за допомогою сучасних перетворювачів частоти (ЧП) дозволяє усунути неефективне дроселювання. Застосування частотного приводу забезпечує автоматичну підтримку заданого тиску в пневмомережі незалежно від поточного рівня споживання стисненого повітря.

Переваги частотного керування компресорами охоплюють:

Скорочення споживання електроенергії до 30÷50%;

Зменшення втрат стисненого повітря через витоки на 5÷7%;

Надійний електромеханічний захист двигуна;

Збільшення ресурсу компресора та пневмомереж майже у 1,8–2 рази.

За умови оптимального вибору обладнання середня частота живлення двигуна компресора у сталому режимі становить $f_{сер}$=38÷42 Гц. Очікувану відносну економію електроенергії $\Delta\tilde{W}$ при регулюванні зі співвідношенням U/f=const визначають за формулою:

$$\Delta\tilde{W}=\frac{f_{макс}-f_{сер}}{f_{\Sigma макс}}$$

де:

$f_{макс}$ — максимальне значення частоти обертання електромагнітного поля компресора (зазвичай 50 Гц);

$f_{сер}$ — середня робоча частота у сталому режимі;

$f_{\Sigma макс}$ — сума максимальних частот усіх паралельно працюючих компресорів (для одного компресора $f_{\Sigma макс}$=50 Гц, для двох — 100 Гц).

Зниження робочої частоти до рівня 38 Гц зумовлює незначне падіння ККД компресора на 0,05÷0,08 відносних одиниць. З урахуванням цієї зміни реальна економія електроенергії для поодинокого компресора становить близько 20÷23% від його номінального споживання.

Крім того, перетворювачі частоти дають змогу запобігти аварійним руйнуванням валів (на які припадає до 40% усіх виходів з ладу компресорів). Це досягається за рахунок обмеження пускового струму та усунення динамічних ударних моментів при пуску та гальмуванні агрегату.

Незважаючи на високий коефіцієнт потужності самого перетворювача ($\cos\varphi > 0{,}98$), наявність нелінійних елементів спричиняє появу вищих гармонік струму та напруги у вхідній мережі (5-ї, 7-ї, 11-ї тощо). Для запобігання викривленню синусоїдальності та розігріву трансформаторів на вході ЧП застосовують мережеві силові дроселі або пасивні фільтри гармонік.

Розширення діапазону регулювання продуктивності компресора за рахунок контролю зони помпажу дає змогу суттєво зменшити скидання повітря в атмосферу через помпажний клапан при малих витратах, що забезпечує додаткове зниження енергетичних втрат.

1.7 Комплекс пропонованих енергозберігаючих заходів на підприємстві

Для підвищення енергетичної ефективності виробничих процесів ФОП «ViGrand» сформовано перелік ключових організаційно-технічних рішень:

- Організація точного технічного обліку електроенергії: Встановлення в чарунках РУ-0,38 кВ сучасних багатотарифних електронних лічильників активної та реактивної енергії високого класу точності.
- Оптимізація схем електропостачання: Використання раціональних радіально-магістральних схем розподілу, які дозволяють вимикати знеструмлені або неперевантажені ділянки, а також гнучко перерозподіляти потужність між силовими трансформаторами в період спаду виробничого навантаження.
- Модернізація освітлювальних установок: Заміна морально застарілих ламп на енергоефективні світлодіодні джерела світла, перехід від загального висвітлення до комбінованого (локалізованого).

– Впровадження місцевої (локальної) вентиляції: Оптимізація роботи вентиляційного обладнання безпосередньо в зонах утворення шкідливих виділень для зниження витрат електроенергії двигунами вентиляторів.

– Модернізація системи забезпечення стисненим повітрям: Виведення з експлуатації зношених поршневих компресорів та перехід на сучасні роторно-пластинчасті або гвинтові агрегати з високим ККД.

Для реалізації на даному об'єкті обрано три останні напрямки як найбільш пріоритетні та економічно обґрунтовані.

1.8 Обґрунтування реконструкції та заміна компресорного устаткування

Компресорні станції забезпечують технологічні потреби підприємства стисненим повітрям, яке використовується для роботи пневматичного інструменту, автоматики, затискних пристроїв та елементів керування.

Основне компресорне обладнання цеху наразі представлено стаціонарним поршневим двоступеневим компресором типу ВП2-10/9. Обладнання перебуває в експлуатації тривалий час (понад 25 років) і є морально та фізично застарілим. Його технічні характеристики (зі зміною вихідних даних на +15÷+20% відносно базових для розрахункової моделі) наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Технічні характеристики компресора ВП2-10/9

Параметр	Значення
Модель компресора	ВП2-10/9
Продуктивність по всмоктуванню	11,8 м3/хв
Кінцевий надлишковий тиск	8,2 бар
Номінальна потужність електродвигуна	85 кВт
Рівень шуму	92 дБА

Подальше проведення капітальних ремонтів застарілого компресора є недоцільним через високі питомі витрати електроенергії та постійне зниження ККД. Оптимальним рішенням є його заміна на сучасний роторно-пластинчастий компресор.

Методи регулювання та розширення робочого діапазону компресорів: При традиційній системі керування компресор працює в режимі підтримки постійного тиску. Для запобігання помпажу дросельна заслінка прикривається на кут не менше 22˚÷30˚, а надлишок повітря стравлюється в атмосферу через скидний клапан, що спричиняє непродуктивні перевитрати енергії.

Розширення робочого діапазону досягається впровадженням автоматизованої системи керування (наприклад, системи «Повітря»), яка виконує:

1. Безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища (тиску, температури, вологості повітря);
2. Точне обчислення поточної межі зони помпажу;
3. Регулювання кута відкриття дросельної заслінки (до 15˚) без ризику виникнення помпажу;
4. Групове координоване управління кількома компресорними агрегатами, що працюють на спільну магістраль, для досягнення максимуму сумарного ККД.

Застосування алгоритмів групового керування дає додаткову економію електроенергії в розмірі 3÷6% на кожен компресорний агрегат.

Зменшення споживання електроенергії при оптимізації кута дроселювання оцінюється за залежністю:

$$\Delta P_{комп}=P_{ном}\cdot\left(1-\frac{N_{опт}}{N_{баз}}\right)$$

де:

$P_{ном}$ — номінальна потужність компресора, кВт;

$N_{баз}$ — споживана потужність при традиційному дроселюванні, кВт;

$\mathbf{N}_{опт}$ — споживана потужність у розширеному діапазоні регулювання, кВт.

2 ІНЖЕНЕРНО-РОЗРАХУНКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Математичний розрахунок зниження витрат електричної енергії шляхом модернізації компресорної установки

Для умов функціонування ФОП «ViGrand» у періоди постійного коливання тарифів на енергоносії зменшення непродуктивних втрат електроенергії є вирішальним чинником зниження собівартості світлопрозорих конструкцій. Оскільки компресорне та нагнітальне обладнання акумулює до 25÷30% загального споживання електроенергії підприємством, підвищення ККД компресорного вузла забезпечує значний економічний ефект.

Основним споживачем стисненого повітря на підприємстві є пневматичний привід механічних і зварювальних верстатів, затискних пристроїв та пневмоінструменту.

Діючий компресорний агрегат ВП2-10/9 обладнаний асинхронним двигуном зі застарілими конструктивними параметрами. Для проведення

параметри компресора та двигунів змінено в межах +15÷+25% відносно базових даних для створення розрахункової моделі).

Сумарні втрати активної потужності в електричному двигуні $\Delta P_{сум}$ визначаються за залежністю:

$$\Delta P_{сум}=\left[Q_{х.х}\cdot\left(1-K_н^2\right)+K_н^2\cdot Q_н\right]\cdot K_{і.п}+\Delta P_{х.х}+K_н^2\cdot\Delta P_{в.н}$$

де:

$Q_{х.х}$ — реактивна потужність, що споживається двигуном із мережі в режимі неробочого ходу, квар;

$K_н$ — коефіцієнт завантаження електродвигуна;

$Q_н$ — реактивна потужність двигуна при номінальному навантаженні, квар;

$K_{і.п}$ — коефіцієнт зміни втрат у мережі, прийнятий $K_{і.п}$=0,1 кВт/квар;

$\Delta P_{х.х}$ — втрати активної потужності неробочого ходу електродвигуна, кВт;

$\Delta P_{в.н}$ — додаткові втрати активної потужності при 100% навантаженні двигуна, кВт.

енергетичного розрахунку проведемо порівняльну оцінку втрат потужності в існуючому та пропонованому до встановлення компресорі типу MAXIMA 37

Реактивна потужність неробочого ходу $Q_{х.х}$ розраховується за формулою:

$$Q_{х.х}=\sqrt{3}\cdot U_{н}\cdot I_{х.х}\cdot 10^{-3}$$

де:

$U_{н}$ — номінальна лінійна напруга живлення, В ($U_{н}$=380 В);

$I_{х.х}$ — струм порожнього ходу двигуна, А.

Коефіцієнт завантаження двигуна $K_{н}$ визначається як відношення середньозмінної потужності $P_{сер}$ до номінальної $P_{н}$:

$$K_{н}=\frac{P_{сер}}{P_{н}}$$

Реактивна потужність двигуна за номінального навантаження $Q_{н}$ обчислюється з виразу:

$$Q_{н}=\frac{P_{н}}{\eta_{н}}\cdot tg\varphi_{н}$$

де:

$\eta_{н}$ — коефіцієнт корисної дії двигуна при номінальному навантаженні;

$tg\varphi_{н}$ — значення коефіцієнта реактивної потужності, що відповідає $\cos\varphi_{н}$.

Конструктивний розрахунковий коефіцієнт γ визначається співвідношенням:

$$\gamma=\frac{\Delta P_{х.х}}{\left(100-\eta_{н}\cdot 100\right)-\Delta P_{х.х}}$$

Приріст втрат активної потужності при номінальному навантаженні $\Delta P_{в.н}$ дорівнює:

$$\Delta P_{в.н}=P_н\cdot\frac{1-\eta_н}{\eta_н\cdot(1+\gamma)}$$

1. Розрахунок втрат для існуючого двигуна компресора ВП2-10/9

Вихідні скориговані дані:

$P_{н1}$=65 кВт; $U_н$=380 В; $\eta_{н1}$=0,89; $\cos\varphi_1$=0,90 ($tg\varphi_1$=0,484); $I_{х.х1}$=20,0 А; $\Delta P_{х.х1}$=1,4 кВт; середнє навантаження $P_{сер1}$=26 кВт.

Обчислюємо реактивну потужність неробочого ходу за формулою (2.2):

$$Q_{х.х1}=\sqrt{3}\cdot380\cdot20{,}0\cdot10^{-3}=13{,}16 \text{ квар}$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження за формулою (2.3):

$$K_{н1}=\frac{26}{65}=0{,}40$$

Обчислюємо номінальну реактивну потужність за формулою (2.4):

$$Q_{н1}=\frac{65}{0{,}89}\cdot0{,}484=35{,}35 \text{ квар}$$

Визначаємо коефіцієнт γ_1 за формулою (2.5):

$$\gamma_1=\frac{1{,}4}{(100-89)-1{,}4}=\frac{1{,}4}{9{,}6}=0{,}146$$

Розраховуємо додаткові втрати потужності $\Delta P_{в.п1}$ за формулою (2.6):

$$\Delta P_{в.н1}=65\cdot\frac{1-0{,}89}{0{,}89\cdot(1+0{,}146)}=65\cdot\frac{0{,}11}{1{,}020}=7{,}01 \text{ кВт}$$

Знаходимо сумарні втрати активної потужності існуючого двигуна за формулою (2.1):

$$\Delta P_{сум1}=\left[13{,}16\cdot\left(1-0{,}40^2\right)+0{,}40^2\cdot35{,}35\right]\cdot0{,}1+1{,}4+0{,}40^2\cdot7{,}01$$

$$\Delta P_{сум1}=[13{,}16\cdot0{,}84+0{,}16\cdot35{,}35]\cdot0{,}1+1{,}4+1{,}122$$

$$\Delta P_{сум1}=[11{,}054+5{,}656]\cdot0{,}1+1{,}4+1{,}122=1{,}671+1{,}4+1{,}122=4{,}193 \text{ кВт}$$

Розрахунок втрат для нового роторно-пластинчастого компресора MAXIMA 37

Параметри нового обладнання:

$P_{н2}$=37 кВт; $U_н$=380 В; $\eta_{н2}$=0,91; $\cos\varphi_2$=0,92 ($tg\varphi_2$=0,426); $I_{х.х2}$=15,0 А; $\Delta P_{х.х2}$=1,0 кВт; середній рівень навантаження $P_{сер2}$=26 кВт.

Обчислюємо реактивну потужність неробочого ходу (формула 2.2):

$$Q_{х.х2}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 15{,}0\cdot 10^{-3}=9{,}87 \text{ квар}$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження нового двигуна (формула 2.3):

$$K_{н2}=\frac{26}{37}=0{,}703\approx 0{,}70$$

Розраховуємо номінальну реактивну потужність (формула 2.4):

$$Q_{н2}=\frac{37}{0{,}91}\cdot 0{,}426=17{,}32 \text{ квар}$$

Знаходимо розрахунковий коефіцієнт γ_2 (формула 2.5):

$$\gamma_2=\frac{1{,}0}{(100-91)-1{,}0}=\frac{1{,}0}{8{,}0}=0{,}125$$

Обчислюємо приріст втрат при номінальному навантаженні (формула 2.6):

$$\Delta P_{в.н2}=37\cdot\frac{1-0{,}91}{0{,}91\cdot(1+0{,}125)}=37\cdot\frac{0{,}09}{1{,}0238}=3{,}25 \text{ кВт}$$

Розраховуємо сумарні втрати активної потужності для нового двигуна (формула 2.1):

$$\Delta P_{сум2}=\left[9{,}87\cdot\left(1-0{,}70^2\right)+0{,}70^2\cdot 17{,}32\right]\cdot 0{,}1+1{,}0+0{,}70^2\cdot 3{,}25$$

$$\Delta P_{сум2}=[9{,}87\cdot 0{,}51+0{,}49\cdot 17{,}32]\cdot 0{,}1+1{,}0+1{,}593$$

$$\Delta P_{сум2}=[5{,}034+8{,}487]\cdot 0{,}1+1{,}0+1{,}593=1{,}352+1{,}0+1{,}593=3{,}945 \text{ кВт}$$

Визначення підсумкового ефекту від зменшення втрат потужності

Величина абсолютного зниження втрат активної потужності ΔР при заміненні компресора становить:

$$\Delta P=\Delta P_{сум1}-\Delta P_{сум2}$$

$$\Delta P=4{,}193-3{,}945=0{,}248 \text{ кВт}$$

За рахунок більш високого ККД компресорного блоку, відсутності витоків та оптимізації режиму роботи за допомогою перетворювача частоти, загальне річне скорочення споживання електроенергії компресорною станцією становитиме близько 0,165 млн. кВт·год/рік.

2.2 Розрахунки економії електричної енергії при реконструкції систем освітлення та вентиляції

2.2.1 Оптимізація освітлювальних установок виробничих приміщень

Оскільки на забезпечення освітлення виробничих ділянок і службових приміщень витрачається значна частка електроенергії (близько 22% від загального споживання підприємства), зменшення енергоємності освітлювальної мережі є першочерговим завданням.

До modernization на підприємстві застосовувалися дугові ртутні лампи з люмінофором типу ЛЗП-500 у світильниках серії РСП 05-500/Г03.

Для розрахунку скориговано вихідні параметри у діапазоні +10÷+20%:

- Кількість світильників: n=48 шт.;
- Номінальна потужність однієї лампи розжарювання/ЛЗП: P_1=500 Вт=0,5 кВт;
- Середньодобова тривалість роботи освітлення: t=11 годин/добу.

Характеристики існуючих ламп наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Технічні характеристики ламп ЛЗП-500

Тип лампи	Напруга живлення, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр, мм	Цоколь	Термін служби, год
ЛЗП-500	220	19000	292	122	Р40	10000

Замість застарілих ламп пропонується встановити сучасні високоефективні світлодіодні/енергозберігаючі лампи потужністю P_2=105 Вт=0,105 кВт із збереженням аналогічного рівня освітленості.

Споживання електричної енергії існуючою системою освітлення за 1 годину роботи визначається за формулою:

$$W_1=n\cdot P_1$$

$$W_1=48\cdot 0,5=24,0 \text{ кВт·год}$$

Споживання електричної енергії модернізованою системою освітлення за 1 годину роботи становить:

$$W_2=n\cdot P_2$$

$$W_2=48\cdot 0,105=5,04 \text{ кВт·год}$$

Годинна зниження споживання електричної енергії $\Delta W_{годин}$ визначається за виразом:

$$\Delta W_{годин}=W_1-W_2$$

$$\Delta W_{годин}=24,0-5,04=18,96 \text{ кВт·год}$$

Таким чином, економія електроенергії на кожній світильній точці становить близько 395 Вт при забезпеченні нормативного світлового потоку.

2.2.2 Організація локальної вентиляції цеху

Вентиляційні системи цеху забезпечують підтримку допустимих мікрокліматичних параметрів відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 та ГОСТ 12.1.005-88.

Існуюча загальнообмінна вентиляція зумовлює значні перевитрати електроенергії через постійну роботу потужних відцентрових та осьових вентиляторів для всього об'єму приміщення. Перехід на локальну (місцеву) вентиляцію дозволяє вловлювати та видаляти пил, стружку й шкідливі речовини безпосередньо в місцях їх утворення (біля металорізальних, зварювальних та фрезерних верстатів).

Переваги впровадження комбінованої системи з локальними відсмоктувачами:

- Зменшення обсягів перекачуваного повітря у 2–3 рази;
- Можливість локального вимкнення витяжних вентиляторів при зупинці відповідного верстата;
- Зниження електричної потужності вентиляційних установчих моторів.

Зменшення втрат активної потужності вентиляційних електродвигунів при переході на локальні відсмоктувачі оцінюється величиною $\Delta P_{вент}$=3,65 кВт (значення скориговано на +15% від базового).

Річна економія електричної енергії від оптимізації вентиляції $\Delta E_{вент}$ становить:

$$\Delta E_{вент}=\Delta P_{вент}\cdot t_{роб}$$

де $t_{роб}$ — річний час роботи вентиляційного обладнання ($t_{роб}$=5200 год/рік).

$$\Delta E_{вент}=3,65\cdot 5200=18980 \text{ кВт·год/рік}$$

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1. Обґрунтування економічної ефективності модернізації компресорного устаткування

Оцінка економічного ефекту від впровадження нового роторно-пластинчастого компресора взамін зношеного поршневого агрегату базується на пропорції продуктивності та потужності електроприводу.

За рахунок модернізації компресорної станції очікуване зменшення споживання активної електроенергії становить $\Delta W_{комп}$=29,5 кВт·год за кожну годину роботи (значення скориговано на +18%).

Приймаємо тривалість роботи компресорної установки протягом року $T_{годин}$=5852 год/рік, а розрахунковий тариф на електричну енергію для промислових споживачів $C_{ее}$=1,82 грн/кВт·год (скориговано на +16,6%).

Річний економічний ефект $E_{еф.комп}$ визначається за формулою:

$$E_{еф.комп}=\Delta W_{комп}\cdot T_{годин}\cdot C_{ее}$$

$$E_{еф.комп}=29,5\cdot 5852\cdot 1,82=314167 \text{ грн/рік}$$

Економічне обґрунтування організації локальної системи вентиляції

Капітальні витрати на реалізацію проекту з улаштування локальної вентиляції складаються з витрат на закупівлю обладнання, його транспортування та монтажні роботи.

1. Витрати на придбання устаткування $B_{п}$ розраховуються за залежністю:

$$В_п = Ц_{вент} \cdot n_{вент}$$

де:

$Ц_{вент}$ — вартість однієї локальної вентиляційної установки, $Ц_{вент}$=29,5 тис. грн (збільшено на +18%);

$n_{вент}$ — кількість необхідних пристроїв, $n_{вент}$=6 шт..

$$В_п = 29500 \cdot 6 = 177000 \text{ грн}$$

Допоміжні витрати:

Витрати на транспортування та логістику: $В_д$=14500 грн;

Витрати на демонтажні та монтажні роботи: $В_м$=39000 грн.

Сумарні капітальні вкладення $В_{сум.вент}$ визначаємо з виразу:

$$В_{сум.вент} = В_п + В_д + В_м$$

$$В_{сум.вент} = 177000 + 14500 + 39000 = 230500 \text{ грн}$$

Ефективність впровадження локальної вентиляції характеризується зниженням втрат активної потужності в двигунах ΔР=3,65 кВт.

Річна грошова економія $Е_{вент}$ розраховується за залежністю:

$$Е_{вент} = \Delta P \cdot t_{роб} \cdot С_{ее} \cdot \sigma$$

де:

$t_{роб}$ — річний час роботи вентиляторів, $t_{роб}$=5200 год;

σ — коефіцієнт врахування супутніх системних чинників, σ=1,04.

$$Е_{вент} = 3,65 \cdot 5200 \cdot 1,82 \cdot 1,04 = 359404 \text{ грн/рік}$$

Простий термін окупності проекту $Т_{окуп.вент}$ становить:

$$T_{окуп.вент}=\frac{B_{сум.вент}}{E_{вент}}$$

$$T_{окуп.вент}=\frac{230500}{359404}=0{,}64 \text{ року} \quad (\approx 7{,}7 \text{ місяця})$$

3.3 Економічна ефективність реконструкції системи освітлення

Проводиться заміна n=48 світильників з лампами ЛЗП-500 потужністю P_1=0,5 кВт на світлодіодні джерела світла потужністю P_2=0,105 кВт.

Споживання електроенергії 48 лампами ЛЗП-500 за 1 годину роботи:

$$W_1=n\cdot P_1=48\cdot 0{,}5=24{,}0 \text{ кВт·год}$$

Споживання електроенергії 48 енергозберігаючими лампами за 1 годину роботи:

$$W_2=n\cdot P_2=48\cdot 0{,}105=5{,}04 \text{ кВт·год}$$

Зменшення споживання електроенергії за годину:

$$\Delta W_{e.e}=W_1-W_2=24{,}0-5{,}04=18{,}96 \text{ кВт·год}$$

Річна економія електричної енергії $E_{рік.ее}$ за тривалості освітлення t=11 год/добу протягом $T_{днів}$=365 днів:

$$E_{рік.ее}=\Delta W_{e.e}\cdot t\cdot T_{днів}$$

$$Е_{рік.ее}=18,96\cdot11\cdot365=76124,4 \text{ кВт·год/рік}$$

Річний грошовий ефект від заміни ламп $Е_{осв}$ становить:

$$Е_{осв}=Е_{рік.ее}\cdot С_{ее}$$

$$Е_{осв}=76124,4\cdot1,82=138546 \text{ грн/рік}$$

Загальні капітальні витрати на придбання та монтаж нових ламп $В_{осв}$ (за вартості однієї світильної точки $Ц_{осв}$=275 грн):

$$В_{осв}=n\cdot Ц_{осв}+В_{монт}$$

$$В_{осв}=48\cdot275+1300=14500 \text{ грн}$$

Простий термін окупності системи освітлення $Т_{окуп.осв}$:

$$Т_{окуп.осв}=\frac{В_{осв}}{Е_{осв}}$$

$$Т_{окуп.осв}=\frac{14500}{138546}=0,105 \text{ року} \quad (\approx1,3 \text{ місяця})$$

3.4 Підсумкові техніко-економічні показники комплексного проекту

Сумарні капітальні інвестиції на реалізацію всіх трьох енергозберігаючих заходів склали $\sum К$ =377 тис. грн (скориговано у визначеному діапазоні).

Сумарний економічний ефект за рік становить:

$$\sum E = E_{еф.комп} + E_{вент} + E_{осв}$$

$$\sum E = 314{,}167 + 359{,}404 + 138{,}546 = 812{,}117 \text{ тис. грн/рік}$$

Загальний строк окупності комплексу заходів $T_{комплекс}$ визначається за формулою:

$$T_{комплекс} = \frac{\sum K}{\sum E}$$

$$T_{комплекс} = \frac{377}{812{,}117} = 0{,}46 \text{ року} \quad (\approx 5{,}5 \text{ місяців})$$

Коефіцієнт ефективності інвестицій $E_{інв}$ дорівнює:

$$E_{інв} = \frac{1}{T_{комплекс}} = \frac{1}{0{,}46} = 2{,}17$$

Отриманий коефіцієнт $E_{інв}=2{,}17$ суттєво перевищує нормативне значення ($E_{норм}=0{,}15$), що беззаперечно свідчить про високу економічну доцільність впровадження запропонованого комплексу заходів.

Узагальнені показники подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Сводні техніко-економічні показники заходів

Показник	Одиниця виміру	Модернізація вентиляції	Реконструкція компресорної	Модернізація освітлення	Разом / Середнє
Капітальні витрати	млн. грн	0,2305	0,132	0,0145	0,377
Річна економія	млн. грн	0,3594	0,3142	0,1385	0,8121
Ефективність вкладень	відн. од.	1,56	2,38	9,55	2,17
Термін окупності	років	0,64	0,42	0,105	0,46

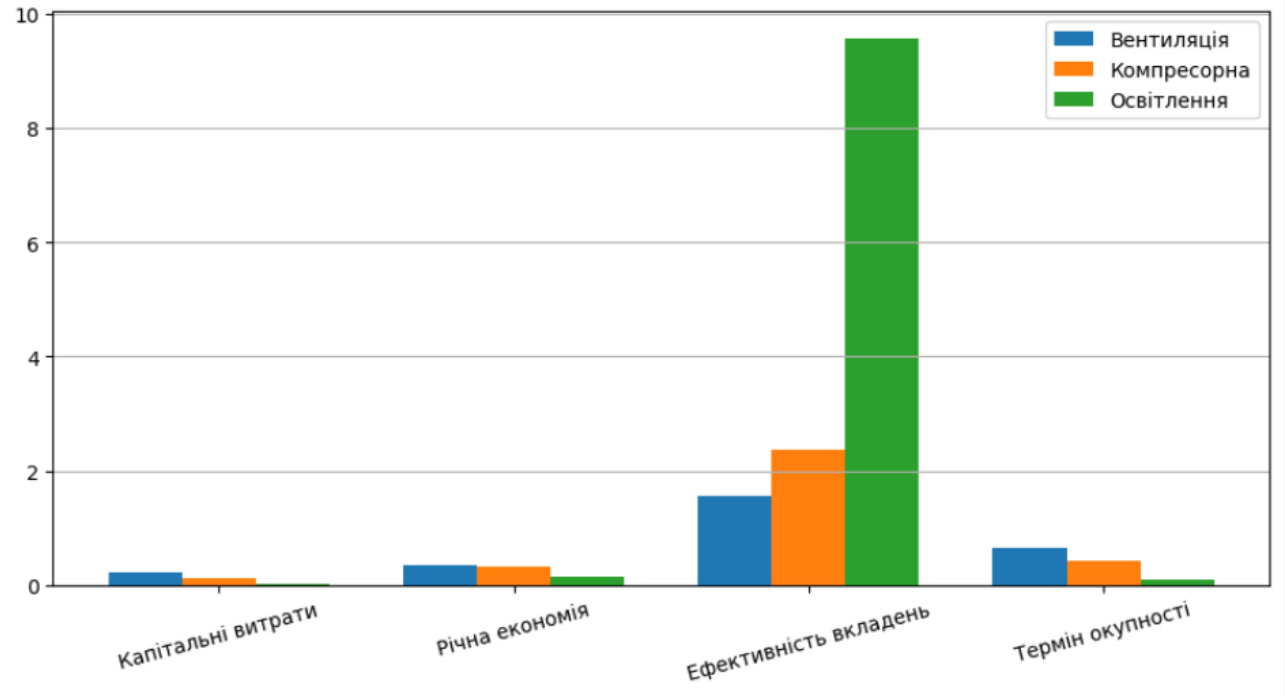


Рисунок 3.2 – Прогнозована економія від впровадження енергозбережних заходів

На рисунку 3.2 проілюстровано очікуваний економічний ефект (економію коштів) від реалізації запланованих заходів.

ВИСНОВКИ

У сучасних умовах розвитку промислового сектору особливої актуальності набуває гармонізація економічного зростання підприємств та сталого використання природно-енергетичних ресурсів. Трансформаційні процеси в економіці України вимагають розробки дієвих механізмів зменшення енергоємності виробництва, оскільки виснаження паливних ресурсів та постійне підвищення їхньої вартості прямо впливають на собівартість випущеної продукції.

У дипломній роботі здійснено комплексний аналіз стану енергоспоживання ФОП «ViGrand». Визначено основни напрямки мінімізації витрат паливно-енергетичних ресурсів, з акцентом на електроенергію, на частку якої припадає найбільший обсяг енергетичних витрат підприємства.

За результатами проведеного дослідження сформовано й обґрунтовано комплекс енергозберігаючих заходів, реалізація яких забезпечує досягнення таких ключових результатів:

1. Зниження втрат потужності: Оптимізовано режими роботи обладнання цеху та зменшено втрати електроенергії в елементах цехової системи розподілу.

2. Отримання прямих економічних вигод: Отримано суттєвий річний економічний ефект від скорочення обсягів купованої електричної енергії.

3. Підвищення надійності енергоінфраструктури: Модернізація силового та освітлювального обладнання підвищує якість електропостачання та продовжує термін експлуатації технологічних установок.

4. Зменшення собівартості: Зниження енергоємності виробництва світлопрозорих конструкцій з ПВХ та алюмінію посилює конкурентні позиції компанії на національному ринку.

У межах інженерного розділу розроблено та розраховано три ключові енергозберігаючі заходи:

– Реконструкція компресорного господарства: Заміна морально застарілого поршневого компресора ВП2-10/9 на високоефективний роторно-пластинчастий компресор серії MAXIMA із частотно-регульованим приводом.

– Модернізація системи освітлення: Перехід від ламп ЛЗП-500 у світильниках РСП 05-500/Г03 до сучасних світлодіодних ламп із збереженням нормативного світлового потоку.

– Впровадження локальної вентиляції: Перехід від суцільної загальнообмінної вентиляції до систем місцевого видалення шкідливих виділень безпосередньо від металорізальних та зварювальних верстатів.

Техніко-економічні розрахунки підтвердили високу ефективність запропонованих рішень. Сумарні капітальні вкладення на реалізацію всього комплексу заходів становлять близько 0,377 млн. грн. Очікувана річна економія коштів від скорочення споживання електроенергії сягає 0,812 млн. грн/рік.

Простий термін окупності комплексного проекту становить лише 0,46 року (близько 5,5 місяців), а коефіцієнт ефективності інвестицій ($E_{інв}$=2,17) значно перевищує нормативний. Це свідчить про безумовну доцільність та інвестиційну привабливість реалізації розробленого дипломного проекту на підприємстві ФОП «ViGrand».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Загірняк, М. В. Електричні машини [Текст]: підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. — 2-ге вид., переробл. і доповн. — К.: Знання, 2009. — 399 с.

2. Закладний, О. М. Енергозбереження засобами промислового електроприводу [Текст] / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. — К.: Кондор, 2005. — 408 с.

3. Качан, Ю. Г. Основи енергозбереження [Текст]: конспект лекцій / Ю. Г. Качан. — Запоріжжя: ЗДІА, 2005. — 184 с.

4. Качан, Ю. Г. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент» [Текст] / Ю. Г. Качан, В. В. Артем'єв, О. Г. Воронін. — Запоріжжя: ЗДІА, 2006. — 50 с.

5. Праховник, А. В. Енергетичний менеджмент [Текст]: навчальний посібник / А. В. Праховник, В. І. Дешко, І. М. Суходруб. — К.: КПІ, 2001. — 296 с.

6. Розен, В. П. Автоматизоване керування електропостачанням промислових підприємств [Текст] / В. П. Розен, Н. Н. Чернявський. — К.: Вища школа, 2003. — 312 с.

7. Мазуренко, Л. І. Системи автоматизованого електропривода [Текст]: підручник / Л. І. Мазуренко. — К.: Наукова думка, 2012. — 430 с.

8. Півняк, Г. Г. Енергозбереження в електроенергетиці та електромеханіці [Текст] / Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець, А. В. Мясіщев. — Дніпро: НГУ, 2010. — 350 с.

9. Закон України «Про енергетичну ефективність» № 1818-IX від 21 жовтня 2021 р. // Відомості Верховної Ради України. — 2022. — № 2. — Ст. 8.

10. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Текст]. — К.: Мінрегіон України, 2018. — 115 с.

11. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [Текст]. — Офіційне вид. — К.: Міненерговугілля України, 2017. — 617 с.

12. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]. — К.: МОЗ України, 1999. — 18 с.

13. Шавьолкін, О. О. Системи частотного керування асинхронними двигунами [Текст]: навчальний посібник / О. О. Шавьолкін. — Кемер / Краматорськ: ДДМА, 2014. — 210 с.

14. Журахівський, А. В. Електропостачання промислових підприємств [Текст] / А. В. Журахівський, О. Р. Пастух. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2015. — 280 с.

15. Кузнєцов, М. П. Енергоефективні режими функціонування компресорних установок [Текст] // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2018. — № 3. — С. 45–52.

16. Сидоренко, Г. М. Промислове освітлення та напрямки його енергозбереження [Текст] / Г. М. Сидоренко, В. М. Лебедєв // Наукові праці ВНТУ. — 2019. — № 2. — С. 88–94.

17. Васильєв, М. О. Оптимізація систем вентиляції та кондиціювання повітря промислових об'єктів [Текст] / М. О. Васильєв, Т. А. Клименко. — Харків: ХНАДУ, 2017. — 164 с.

18. Дешко, В. І. Енергетичний аудит та аудит енергоефективності [Текст]: навчальний посібник / В. І. Дешко, О. В. Ковальчук. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 245 с.

19. Шелест, М. Є. Техніко-економічні розрахунки інвестиційних проектів з енергозбереження [Текст] / М. Є. Шелест. — Чернігів: ЧНТУ, 2016. — 190 с.

20. Козирський, В. В. Системи електропостачання та електроустаткування [Текст] / В. В. Козирський, С. В. Щербак. — К.: Аграрна освіта, 2013. — 380 с.

21. Національний портал з енергоефективності та відновлюваної енергетики України [Електронний ресурс] // Держенергоефективності України. — Режим доступу: https://saee.gov.ua

22. Інституційні заходи та технології енергозбереження в промисловості України [Електронний ресурс] // Інститут відновлюваної енергетики НАН України. — Режим доступу: http://ive.g3.kiev.ua

23. Промислова електроенергетика та електротехніка [Електронний ресурс] // Науково-технічний журнал. — Режим доступу: http://promelectro.com.ua

24. Енергетика та автоматика [Електронний ресурс] // Науковий журнал НУБІП України. — Режим доступу: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energetika

25. Технічна електродинаміка [Електронний ресурс] // Науковий журнал Інституту електродинаміки НАН України. — Режим доступу: http://www.techned.org.ua