

Немикіна Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри «Електричні та електронні апарати»; +38(067)296-25-87, olganemikina@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-0653-5615

Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Університетська, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69011

Засовенко Андрій Володимирович, к.т.н., доцент кафедри «Математика», +38(097)749-02-21, zasov77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1012-6742

Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Університетська, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69011

Жорняк Людмила Борисівна, к.т.н., доцент кафедри «Електричні та електронні апарати»; +38(050)257-05-10, zproton@zntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-1417-4859

Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Університетська, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69011

Немикіна Олександра Сергіївна, студент, +38(068)499-16-65, sasha.nemikina@gmail.com

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ЗАПОРІЗЬКИЙ ЕЛЕКТРОВОЗРЕМОНТНИЙ ЗАВОД»

Анотація. У статті розглянуто основні напрями підвищення енергоефективності приватного акціонерного товариства «Запорізький Електровозремонтний завод» шляхом розробки та впровадження комплексу енергозберігаючих заходів. Запропоновані рішення охоплюють модернізацію систем освітлення із переходом на світлодіодні джерела світла, заміну малоєфективних поршневих компресорів на гвинтові агрегати з частотним регулюванням, а також впровадження високочастотних тиристорних перетворювачів частоти замість застарілих електромашинних перетворювачів типу «двигун–генератор». Проведені техніко-економічні розрахунки підтверджують високу результативність запропонованих заходів.

Ключові слова: оцінка потенціалу енергозбереження, енергоємне виробництво, комплекс енергозберігаючих заходів, термін окупності.

Nemykina Olga, PhD, Associate Professor, Department of «Electrical and Electronic Devices», + 38(067)296-25-87, olganemikina@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-0653-5615

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

64 Universytetska St., Zaporizhia, Ukraine, 69011

Zasovenko Andrii, PhD, Associate Professor, Department «Mathematics», +38(097)749-02-21, zasov77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1012-6742

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

64 Universytetska St., Zaporizhia, Ukraine, 69011

Zhorniak Liudmyla, PhD, Associate Professor, Department of «Electrical and Electronic Devices», +38(050)257-05-10, zproton@zntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-1417-4859

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

64 Universytetska St., Zaporizhia, Ukraine, 69011

Nemykina Oleksandra, student, +38(068)499-16-65, sasha.nemikina@gmail.com

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

2 Kirpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF ENERGY SAVING MEANS OF PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY «ZAPOZIRIZHSKY ELECTROVOZOREMONTNY ZAVOD»

Abstract. *The article considers the main directions of increasing the energy efficiency of the private joint-stock company «Zaporizhzhya Elektrovozoremontny Zavod» by developing and implementing a set of energy-saving measures. The proposed solutions include the modernization of lighting systems with the transition to LED light sources, the replacement of inefficient piston compressors with screw units with frequency regulation, as well as the introduction of high-frequency thyristor frequency converters instead of outdated electromechanical converters of the «motor-generator» type. The conducted technical and economic calculations confirm the high effectiveness of the proposed measures.*

Keywords: *assessment of energy saving potential, energy-intensive production, set of energy-saving measures, payback period.*

Актуальність роботи. В умовах сучасного розвитку промисловості питання енерго- та ресурсозбереження набувають особливої актуальності. Зростання вартості енергоресурсів, підвищені вимоги до екологічної безпеки, необхідність зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємств зумовлюють потребу у впровадженні ефективних заходів з раціонального використання енергії та матеріальних ресурсів [1, 2, 3].

Приватне акціонерне товариство «Запорізький електровозоремонтний завод» («ЗЕРЗ») є одним із провідних підприємств залізничного машинобудування України, що спеціалізується на ремонті та модернізації електровозів. ПрАТ «Запорізький електровозоремонтний завод» є енергоємним підприємством, у структурі енерговитрат якого понад 70 % складає електрична енергія. Основними споживачами є електроприводи металорізальних верстатів, кранів та тельферів; печі і термічні установки, компресорні та вентиляційні системи, насосні станції та система освітлення. В умовах підвищення тарифів на

електроенергію та необхідності скорочення виробничих витрат важливим є впровадження ефективних заходів енергозбереження, спрямованих виключно на зниження електроспоживання.

Метою даної роботи є розробка та обґрунтування комплексу технічних і організаційних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності та зниження споживання електричної енергії на ПрАТ «Запорізький електровозоремонтний завод» за рахунок :

1. Визначення основних напрямків підвищення енергоефективності технологічних процесів та систем освітлення.
2. Оцінка потенціалу енергозбереження.
3. Розробка та впровадження комплексу конкретних енергозберігаючих заходів.
4. Обґрунтування техніко-економічної ефективності запропонованих заходів.

Матеріал і результати досліджень. Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів є одним із ключових напрямків підвищення конкурентоспроможності підприємства та зниження собівартості продукції. Проведений аналіз показує, що на підприємстві існує значний потенціал енергозбереження, який може бути реалізований шляхом технічних, технологічних і організаційних заходів.

Основними споживачами енергії є виробничі цехи, котельне господарство, компресорна станція, системи освітлення та вентиляції, опалення будівель. Найбільша частка витрат електроенергії припадає на роботу технологічного обладнання (до 60–70 %), зокрема електродвигунів, компресорів та термічних установок. Освітлення виробничих приміщень та зовнішнього освітлення заводу складає 20–25 %.

Аналіз енерговитрат показав наявність втрат електричної енергії через:

- застосування морально застарілих джерел світла з низьким ККД [5, 6];
- використання застарілого та зношеного електротехнічного обладнання в магістралі стислого повітря;

- використання застарілого та зношеного електротехнічного обладнання для цеху металоконструкцій для гарячого видавлювання заготовок;
- відсутність системи моніторингу та обліку енергоресурсів у режимі реального часу [7].

Комплекс енергозберігаючих заходів ПрАТ «Запорізький електровозоремонтний завод» включає:

1. модернізація системи освітлення заводу шляхом встановлення світлодіодних ламп;
2. придбання та встановлення гвинтового компресора у цехах заводу;
3. придбання та встановлення високочастотних тиристорних перетворювачів частоти у цеху металоконструкцій.

Одним з показників ефективності інвестицій розглянутих у роботі є термін окупності, який показує за скільки років величина капітальних вкладень перекриється сумою одержуваного ефекту за рік [7].

1. Модернізація системи освітлення заводу.

Модернізація зовнішнього освітлення заводу LED лампами.

Діюче зовнішнє освітлення представлено табл. 1. Діюче зовнішнє освітлення представлено Лампами розжарювання (ЛР).

Потужність освітлення:

$$P_{осв} = \kappa_{\epsilon} P \cdot N, \quad (1)$$

де κ_{ϵ} – коефіцієнт використання джерел світла $\kappa_{\epsilon} = 1$; P – потужність лампи, кВт; N – кількість джерел світла (ДС), шт.

Вартість електроенергії для освітлення за рік, грн:

$$B_{осв} = C_w \cdot W_{осв}, \quad (2)$$

де C_w – вартість електроенергії 6,5 грн за кВт·год [4]; W – споживана електроенергії для освітлення, кВт год за рік. $W_{осв} = P_{осв} \cdot T$; T – час роботи освітлювальних установок за рік, годин ($T = 2880$ год, при середньому часі роботи зовнішнього освітлення біля 8-ми годин на добу; 8 год \times 30 днів \times 12 міс).

Таблиця 1 – Характеристики зовнішнього освітлення

Приміщення	Діюче освітлення	Кількість N , шт.	$P_{осв}$, кВт	$W_{осв}$, кВт год за рік	$B_{осв}$, грн. за рік
Західна та центральна прохідна, західний проїзд	ЛР 500Вт	20	10	28800	187200
Відділ постачання (склади)	ЛР 500Вт	4	2	5760	37440
Цех транспортний	ЛР 500Вт	5	2,5	7200	46800
Виїзні ворота	ЛР 500Вт	3	1,5	4320	28080
Дах цехів колісного та транспортного	ЛР 500Вт	3	1,5	4320	28080
Мачта освітлення на піскоструйній ділянці	ЛР 500Вт	3	1,5	4320	28080
Дах котельної та мазутосховища	ЛР 500Вт	2	1	2880	18720
Загалом		40	20	57600	374400

Освітлення, пропоноване при модернізації наведено в таблиці 2. Кількість джерел світла N залишається незмінним.

Таблиця 2 – Характеристики з зовнішнього освітлення при модернізації

Приміщення	Рекомендовані світильники	Кількість N шт.	$P_{осв}$, кВт	$W_{осв}$, кВт год за рік	$B_{осв}$, грн за рік
Західна та центральна прохідна західний проїзд	Brille HL-601/100W LED CW WH/BK IP65 -100Вт	20	2	5760	37440
Відділ постачання (склади)	Brille HL-601/100W LED CW WH/BK IP65 -100Вт	4	0,4	1152	7488
Цех транспортний	Brille HL-601/100W LED CW WH/BK IP65 - 100Вт	5	0,5	1440	9360
Виїзні ворота	Brille HL-601/100W LED CW WH/BK IP65 - 100Вт	3	0,3	864	5616
Дах цехів колісного та транспортного	Brille HL-33/100W LED SMD NW IP65 - 50Вт	3	0,3	864	5616
Мачта освітлення на піскоструйній ділянці	Brille HL-33/100W LED SMD NW IP65 - 50Вт	3	0,3	864	5616
Дах котельної та мазутосховища	Brille HL-33/100W LED SMD NW IP65 - 50Вт	2	0,2	576	3744
Загалом		40	4	11 520	74880

Відносна різниця вартості спожитої електроенергії складає, %:

$$\Delta B = \frac{B_{ee.}^{\text{до}} - B_{ee.}^{\text{після}}}{B_{ee.}^{\text{до}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$\Delta B_{\text{осв}} = \frac{374400 - 74880}{374400} \cdot 100\% = 80\%$$

де $B_{ee.}^{\text{до}}$, $B_{ee.}^{\text{після}}$ – вартість електроенергії для системи освітлення до та після модернізації, грн.

Орієнтовна вартість LED освітлювальних приладів в кількості 40 шт. складає 385–400 тис. грн.

Термін окупності при модернізації освітлення за рахунок електроенергії складе:

$$T_{\text{ок(еє)}} = \frac{B_{\text{ламп_осв}}}{\Delta B_{ee.}} = \frac{B_{\text{ламп_осв}}}{B_{ee.осв}^{\text{до}} - B_{ee.осв}^{\text{після}}}, \quad (4)$$

де $B_{\text{ламп_осв}}$ – вартість світлодіодних освітлювальних приладів; $\Delta B_{ee.}$ – різниця вартості спожитої електроенергії, грн.

При розрахунку терміну окупності вартість електроенергії прийнята *const*.

$$T_{\text{ок(еє)}} = \frac{385\,375,5}{374400 - 74880} = 1,3 \text{ роки.}$$

Для збільшення економічного ефекту, як експеримент можна обладнати невелику кількість світильників (близько 5 штук) з датчиками руху Brille DE-09 BLACK орієнтовна ціна одного датчика ~ 600 грн. У разі їх успішного застосування, оснащення подібними датчиками, навіть половини світильників, дозволить ще на третину скоротити споживання електроенергії світлодіодними світильниками.

Згідно техніко-економічного обґрунтування видно що термін окупності зовнішнього освітлення складає 1,3 роки.

Модернізація системи освітлення у виробничих приміщеннях LED лампами.

Діюче освітлення у виробничих приміщеннях у табл. 3. Діюче освітлення представлено лампами розжарювання (ЛР) та ДРЛ-лампами. Потужність

освітлення для приміщення, споживана електроенергії для освітлення та вартість електроенергії для освітлення розраховуються за виразом (1, 2).

Таблиця 3 – Характеристики освітлення у виробничих приміщеннях

Приміщення	Діюче освітлення	Кількість N шт.	$P_{осв}$, кВт	$W_{осв}$, кВт год за рік	$B_{осв}$, грн за рік
Роликове відділення цеху колісного	ЛР 160Вт	55	9	25 920	168 480
Малярне відділення цеху складального	ЛР 200Вт	80	16	46080	299 520
Якірна дільниця цеху електромашинного	Лампа ДРЛ 240Вт	96	20	57600	374 400
Котушечна дільниця цеху електромашинного	Лампа ДРЛ ламп 240Вт	96	20	57600	374 400
Цех апаратний	Лампа ДРЛ 500Вт	65	32	92160	599 040
Складальна дільниця цеху електромашинного	Середня потужність ламп 240Вт	90	15	43200	280 800
Загалом		482	112	322 560	2096 640

Освітлення, пропонуване при модернізації наведено в табл. 4. Кількість джерел світла N зменшується з 482 до 212 шт.

Таблиця 4 – Характеристики освітлення у виробничих приміщеннях при модернізації

Приміщення	Рекомендовані світильники	Кількість N шт.	$P_{осв}$, кВт	$W_{осв}$, кВт год за рік	$B_{осв}$, грн. за рік
Роликове відділення цеху колісного	LED світильник, 80Вт	25	2	5760	37 440
Малярне відділення цеху складального	LED світильник, 160Вт	32	5	14400	93 600
Якірна дільниця цеху електромашинного	LED світильник, 160Вт	30	5	14400	93 600
Котушечна дільниця цеху електромашинного	LED світильник, 160Вт	30	5	14400	93 600
Цех апаратний	LED світильник, 150Вт	65	10	28800	187 200
Складальна дільниця цеху електромашинного	LED світильник, 160Вт	30	5	14400	93 600
Загалом		212	32	92160	599 040

До модернізації виходячи з фактично встановлених освітлювальних приладів (482шт.), сумарна потужність освітлення склала 112 кВт; після модернізації потужність освітлення складе 32 кВт.

Відносна різниця вартості спожитої електроенергії у виробничих приміщеннях $B_{осв}$ за рік, вираз (3), зменшується на 71,4 %

$$\Delta B_{осв} = \frac{2096640 - 599040}{2096640} \cdot 100\% = 71,4\%$$

Орієнтовна вартість світлодіодних освітлювальних приладів у виробничих приміщеннях в кількості 212 шт. складає – 1 825,0 тис. грн.

Термін окупності при модернізації освітлення у виробничих приміщеннях, вираз (4) , складе:

$$T_{ок(е.е.)} = \frac{1\,825 \cdot 1000}{2096640 - 599040} = 1,2 \text{ роки.}$$

Згідно техніко-економічного обґрунтування видно що термін окупності у виробничих приміщеннях складає 1,2 роки. Всі роботи по модернізації освітлення підприємство може виконувати власними силами, за умові укомплектування цеху енергосилового електромонтажниками силових мереж та електроустаткування.

2. Придбання та встановлення гвинтових компресорів для виготовлення та подачі в заводські магістралі стислого повітря у цехах заводу.

Наявне обладнання для виробництва стислого повітря на ПрАТ «Запорізький електровозремонтний завод» складається з семи нових компресорів виробництва фірми «DALGAKIRAN COMPRESSOR», а також трьох компресорів виробництва СРСР які до поточного часу, застаріли як фізично, так і морально, знос даного обладнання становить понад 70 %. Для повного забезпечення підприємства стисненим повітрям даного обладнання недостатньо, багато ділянок підприємства знаходяться в крайніх точках заводський пневмо мережі відчувають проблеми з нестачею стислого повітря. На даний момент підприємство оснащено таким обладнанням, для виробництва стислого повітря наведеним в табл. 5.

Таблиця 5 – Перелік існуючого обладнання для вироблення стислого повітря

№ п/п	Найменування, модель	Кількість, шт.
1	Гвинтовий компресор DVK 75	5
2	Гвинтовий компресор DVK 220	2
3	Поршневий компресор 4BM10-120/9	1
4	Поршневий компресор ВП 50/8(в неробочому стані)	1
5	Поршневий компресор 4M10- 100/8(в неробочому стані)	1

Устаткування, задіяне для виробництва стислого повітря на ПрАТ «ЗЕРЗ»:

- Гвинтовий компресор DVK 75. В кількості п'яти штук розташовані в основних цехах підприємства (Складальний комплекс (складальний, апаратний і візковий цехи) – 2 од.; цех електромашинний – 1 од.; цех колісний – 1 од.; цех ковальсько-ливарний – 1 од.). Забезпечують стислим повітрям виключно вищеназвані цехи.

- Гвинтовий компресор DVK 220. В кількості двох одиниць розташовані на компресорній ділянці цеху енергосилового. В повній мірі не можуть задовольнити потребу підприємства в стислому повітрі, цехи і ділянки підприємства розташовані в крайніх точках заводської пневмомережі працюють з низьким тиском.

- Поршневий компресор 4M101-00/8. Поршневий компресор ВП 50/8. Компресора розташовані на компресорній ділянці енергосилового цеху. Перебуває в неробочому стані, вимагає проведення капітального ремонту.

- Поршневий компресор 4BM10-120/9. Розташований на компресорній ділянці цеху енергосилового. Використання даного компресора недоцільно через його велику потужність та малу енергоефективність.

Основною проблемою встановлених на компресорній ділянці цеху енергосилового поршневих компресорів є те, що їм необхідно проведення капітальних ремонтів, наявність водяного охолодження (використання градирні), а також їх мала енергоефективність (високі витрати на електроенергію і воду).

Технологічно велика частина стислого повітря йде на потреби цеху ковальсько-ливарного і піскоструйної ділянки. Існуюче на підприємстві

обладнання для вироблення стислого повітря не може в повній мірі забезпечити всі підрозділи заводу, якщо працює один з вище названих об'єктів.

Для виконання поставлених завдань необхідно переоснащення обладнання на компресорній ділянці цеху енергосилового, що включає в себе заміну поршневого компресора 4M10-100/8, на новий енергоефективний компресор. Також слід обладнати найбільш віддалену частину заводської пневмомережі (цех металоконструкцій, цех транспортний) власним енергоефективним компресором.

Нові компресора виробництва фірми «DALGAKIRAN COMPRESSOR» не можуть в повній мірі забезпечити підприємство стислим повітрям. Цеха і ділянки, які перебувають у крайніх точках заводський пневмо мережі відчувають брак стислого повітря і змушені лише частково задіяти наявне обладнання.

Поршневі компресора виробництва СРСР використовують для роботи водяне охолодження, потрібен тривалий час для запуску в роботу, а також неекономно використовують електроенергію (4BM10-120/9 за 1 годину роботи витрачає близько 1000 кВт·год). Крім морального і фізичного зносу, дане обладнання вимагає проведення капітальних і планово – попереджувальних ремонтів, з заміною зношених вузлів.

До розгляду запропоновано компресори компанії «DALGAKIRAN COMPRESSOR» як ті, що успішно зарекомендували себе на ринку України і не один рік відпрацювали на ПрАТ «ЗЕРЗ» [9] .

- Гвинтовий компресор DVK 220/220D. Потужність електродвигуна 160 (кВт). Продуктивність 27,4 (м³/хв).

- Гвинтовий компресор з частотно регульованим приводом (ЧРП) Inversys 160 Plus. Потужність електродвигуна 160 (кВт). Продуктивність від 6,8 до 28,2 (м³/хв).

За результатами дослідження представленого компресорного устаткування рекомендується, для установки на компресорній ділянці енергосилового цеху гвинтовий компресор з частотного регульованим приводом (ЧРП) Inversys 160 Plus. Тому як при роботі групи компресорів (два наявних DVK 220 + Inversys 160 Plus) для регулювання продуктивності досить одного компресора з ЧРП.

Компресор з ЧРП згладжує нерівномірність в споживанні стислого повітря (підтримуючи стабільний тиск в пневмо-мережі) і в разі потреби вводить в роботу (або виводить з роботи) компресори з постійною продуктивністю. Віддалені ділянки заводської пневмо-мережі (цех металоконструкцій, транспортний цех) рекомендується обладнати одним гвинтовим компресором DVK 220, для забезпечення повноцінної роботи даних цехів і підтримки стабільного тиску заводський пневмо-мережі. Так як мінімальне споживання стислого повітря на момент вимірів склало 8,1 м³/хв, максимальне 15,1 м³/хв. При цьому не було задіяне обладнання: прес 630 т. Установка даного компресора дасть можливість локальної роботи, у вихідні дні, всіх виробничих цехів, без задіяння компресорної ділянки енергосилового цеху.

Загальні капітальні вкладення на установку обладнання наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Загальні капітальні вкладення на установку обладнання

№ п/п	Дільниця	Тип обладнання	Обрана модель	Потужність P , кВт	Вартість $V_{комп}$, EUR	Вартість $V_{комп}$, грн
1	енергосилового цеху	гвинтовий компресор	Inversys 160 Plus	160	65 000	3 185 000
2	цеху металоконструкцій	гвинтовий компресор	DVK 220	160	45 000	2 205 000

Вартість $V_{комп}$ в грн при курсі EUR = 49 грн.

Сумарна потужність компресора, при використанні поточного обладнання для вироблення і підтримки задовільного тиску стислого повітря в пневмо-мережі заводу, а саме поршневого компресора 4BM10-120 /9:

- потужність основного електродвигуна компресора 800кВт ;
- потужність допоміжного обладнання компресора ~ 200 кВт.

Сумарна потужність складе $P = 800 + 200 = 1000$ кВт.

Споживана електроенергія компресором за рік:

$$W = \kappa_{\epsilon} \cdot P \cdot T \quad (6)$$

де κ_{ϵ} – коефіцієнт використання компресора $\kappa_{\epsilon} = 0,8-1$, приймаємо $\kappa_{\epsilon} = 1$; P – сумарна потужність компресора, кВт; T – час роботи компресора за рік, годин

(При середньому часі роботи компресора близько 7 годин на добу, $T = 2520$ год
 $= 7 \text{ год} \times 30 \text{ днів} \times 12 \text{ міс}$);

$$W = 1000 \cdot 2520 = 2\,520\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Компресор Inversys 160 Plus, $P = 160$ кВт при роботі дозволяє економити близько 25 % електроенергії при забезпеченні продуктивності .

Оскільки придбання даних компресорів заплановано протягом двох років, у нинішньому році планується лише придбання компресора Inversys 160 Plus.

Споживана електроенергія компресором Inversys 160 за рік:

$$W = 160 \cdot 2520 = 403\,200 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Оскільки встановлення лише одного з двох запланованих компресорів замало для підтримки задовільного тиску стислого повітря у пневмережі заводу, буде частково використовуватись й компресор 4BM10-120/9 (орієнтовно час його використання скоротиться вдвічі).

Економія електроенергії при установці нового компресора Inversys 160 за рік:

$$\Delta W_{ee} = 2\,520\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / 2 - 403\,200 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 856\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економія електроенергії за рік, %

$$\Delta W_{ee} = \frac{2\,520\,000 / 2 - 403\,200}{2\,520\,000 / 2} \cdot 100\% = 68\%$$

Вартість витрат електроенергії ΔB_{ee} для компресорного обладнання за рік, грн:

$$\Delta B_{ee} = C_w \cdot \Delta W_{ee} = 6,5 \text{ грн.} \cdot 856\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 5\,569\,200 \text{ грн.}$$

Термін окупності компресора складе:

$$T_{ок(еe)} = \frac{B_{компр}}{\Delta B_{ee}} = \frac{3\,185\,000}{5\,569\,200} = 0,57 \text{ року.}$$

Придбання компресорів Inversys 160 Plus та DVK 220 забезпечить усунення проблем пов'язаних з нерівномірним і хаотичним споживанням стислого повітря.

Згідно техніко-економічного обґрунтування видно, що термін окупності складе приблизно 0,6 року, тобто 7,2 місяців.

3. Придбання та встановлення високочастотних тиристорних перетворювачів частоти для цеху металоконструкцій для гарячого видавлювання заготовок.

Наявне обладнання, що використовується для гарячого видавлювання заготовок представлено двома генераторами типу ТПЧ-100 і ВПЧ-100-2400. Для гарячого видавлювання заготовок \varnothing 20–36 мм використовується морально застарілий і енерго неефективний вертикальний перетворювач частоти ВПЧ-100-2400. ТПЧ-100 є сучасним напівпровідникових тиристорним перетворювачем частоти, який використовується при гарячому видавлюванні заготовок.

На даний момент підприємство оснащено таким обладнанням, що використовується при гарячому видавлюванні заготовок наведеним в табл. 7.

Таблиця 7 – Перелік існуючого обладнання для гарячого видавлювання заготовок

№ п/п	Найменування, модель	Кількість, шт.
1	Тиристорний перетворювач частоти ТПЧ-100	1
2	Вертикальний перетворювач частоти ВПЧ-100-2400	1

Устаткування, що використовується при гарячому видавлюванні заготовок на ПрАТ «ЗЕРЗ»:

- Тиристорний перетворювач частоти ТПЧ-100. Знаходиться на ділянці напівгарячого видавлювання цеху металоконструкцій (ЦМК). У парі з пресом із зусиллям 630 тонн використовується при гарячому видавлюванні заготовок \varnothing понад 50 мм.

- Вертикальний перетворювач частоти ВПЧ-100-2400. Існуючий вертикальний перетворювач частоти ВПЧ-100-2400 являє собою застарілу модель, що працює по типу «двигун-генератор». Ця модель має складну конструкцію, при роботі обертаючись зі швидкістю понад 3000 об./хв. і вимагає для цього використання водяного охолодження. Знаходиться на ділянці напівгарячого видавлювання ЦМК. У парі з пресами з зусиллям 315 і 100 тонн використовується при гарячому видавлюванні заготовок \varnothing 20–36 мм. Знаходиться в морально застарілому і фізично зношеному стані. Основною проблемою вертикального перетворювача частоти ВПЧ-100-2400 є складність його технічного

обслуговування і фізична зношеність, внаслідок чого йому необхідно проведення позапланових капітальних ремонтів, також до його мінусів можна віднести наявність водяного охолодження і малу енергоефективність. Існуючий вертикальний перетворювач частоти ВПЧ-100-2400, потужністю 100 кВт, вимагає повноцінної заміни, внаслідок його морального і фізичного зносу.

Для видавлювання заготовок \varnothing 20–36 мм доцільніше і економічно (економія електроенергії) вигідніше було б використовувати два незалежних: один від одного генератора частоти; по одному для кожного з наявних пресів.

До розгляду прийнято перетворювачі частоти (ПЧ) виробництва ТОВ «Термоліт», як компанії, що успішно зарекомендувала себе на ринку України і до того неодноразово поставляла термічне устаткування для потреб ПрАТ «ЗЕРЗ». Розглядалися ПЧ типу: ВТГ-40-66, $P = 40$ кВт, Робоча $f = 40\text{--}70$ кГц; ВТГ-50-22, $P = 50$ кВт, Робоча $f = 18\text{--}25$ кГц; ВТГ-20-44, $P = 20$ кВт, Робоча $f = 35\text{--}45$ кГц. Напруга ПЧ 380В. Охолодження водяне [10].

За результатами дослідження представленого термічного обладнання пропонується придбати, для роботи в парі з пресом із зусиллям в 100 тонн, на якому видавлюються заготовки \varnothing 20–30 мм високочастотний тиристорний ПЧ типу ВТГ-20-44, як оптимальний вибір для нагріву даних заготовок (час нагрівання заготовки 20–25мм 10–15 сек). Для роботи в парі з пресом із зусиллям в 315 тонн, на якому видавлюються заготовки \varnothing 30–40 мм рекомендуємо придбати високочастотний тиристорний ПЧ ВТГ-50-22, як оптимальний вибір для нагріву даних заготовок (час нагрівання заготовки 10–40 мм 10–15 сек). Планується використовувати існуючі комунікації при установці вищевказаного термічного обладнання.

Таблиця 8 – Загальні капітальні вкладення на установку обладнання

№ п/п	Параметри заготовки	Тип обладнання	Обрана модель	Потужність P , кВт	Вартість $B_{пч}$, USD	Вартість $B_{пч}$ грн
1	\varnothing 20 – 30 мм	Високочастотний тиристорний ПЧ	ВТГ-20-44	20	6200	254 200
2	\varnothing 30 – 40 мм	Високочастотний тиристорний ПЧ	ВТГ-50-22	50	14 500	594 500
Σ				70		848 700

Вартість $B_{нч}$ в грн. при курсі USD = 41 грн.

Споживана електроенергія ПЧ типу ВПЧ-100-2400 ($P = 100$ кВт) за рік:

$$W = 100 \cdot 2160 = 216\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де T – час роботи ПЧ за рік, годин (при середньому часі роботи ПЧ близько 6 годин на добу, $T = 2\,160 \text{ год} = 6 \text{ год} \times 30 \text{ днів} \times 12 \text{ міс}$).

Споживана електроенергія ПЧ типу ВТГ-20-44 та ВТГ-50-22 ($P_{\Sigma} = 70$ кВт) за рік:

$$W = 70 \cdot 2160 = 151\,200 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $T = 2\,160$ год за рік (при середньому часі роботи ПЧ близько 6 годин на добу).

Економія електроенергії за рік при установці нових перетворювачів складе:

$$\Delta W_{ee} = 216\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год} - 151\,200 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 64\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економія електроенергії за рік, %

$$\Delta W_{ee} = \frac{216000 - 151200}{216000} \cdot 100\% = 30\%$$

Річна економія електроенергії в грошовому вираженні складе:

$$\Delta B_{ee} = C_w \cdot \Delta W_{ee} = 6,5 \text{ грн.} \cdot 64\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 421\,200 \text{ грн.}$$

Отже, термін окупності нових перетворювачів складе:

$$T_{ок(еe)} = \frac{B_{нч}}{\Delta B_{ee}} = \frac{848700}{421\,200} = 2,01 \text{ року.}$$

Придбання сучасного та енергоефективного обладнання для заміни зношеного та морально застарілого обладнання, що використовується при гарячому видавлюванні заготовок $\varnothing 20\text{--}36\text{мм}$, дозволить щорічно економити електроенергію на суму близько 421 тис. грн. При цьому термін окупності складе чуть більше ніж 2 рока. Всі роботи по встановлення ПЧ підприємство може виконувати власними силами, за умові укомплектування цеху металоконструкцій електромонтажниками силових мереж та електроустаткування.

Висновок. Запропонований комплекс заходів – модернізація освітлення з переходом на LED-лампи, заміна малоефективних поршневих компресорів на гвинтові з частотним регулюванням, впровадження високочастотних тиристорних

перетворювачів частоти забезпечує скорочення споживання електроенергії та підвищити ефективність виробничих процесів на заводі.

Техніко-економічні розрахунки підтверджують високу ефективність запропонованих рішень. Термін окупності становить:

- 1,3 та 1,2 роки при модернізації системи освітлення заводу переходом на LED-лампи, відповідно для зовнішнього освітлення та освітлення у виробничих приміщеннях;

- 0,6 роки при заміні малоефективних поршневих компресорів на гвинтові з частотним регулюванням;

- 2 роки при заміні вертикального перетворювача частоти типу «двигун-генератор». на високочастотні тиристорні перетворювачі.

Загальний потенціал зменшення споживання електричної енергії сягає:

- 80 % та 71 % при модернізації системи освітлення заводу переходом на LED-лампи, відповідно для зовнішнього освітлення та освітлення у виробничих приміщеннях;

- 68 % при заміні малоефективних поршневих компресорів на гвинтові з частотним регулюванням;

- 30 % при заміні вертикального перетворювача частоти типу «двигун-генератор» на високочастотні тиристорні перетворювачі відносно споживання застарілим обладнанням. Реалізація цих заходів дозволить підприємству знизити енергоємність продукції.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. ДСТУ 4065-2001 Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ). З поправкою (ІПС № 8-2002).
2. ДСТУ 3886-99. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. Київ : Підприємство “Електромеханіка”, 1999.
3. Енергетична стратегія України до 2030 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0002120-13>
4. Тарифи на послуги оператора системи розподілу ПАТ Запоріжжяобленерго <https://www.zoe.com.ua/%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%B8-%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/>
5. Немикіна О. В. Впровадження енергозберігаючих ламп у виробничих приміщеннях електровозремонтного заводу / Немикіна О. В., Мухомедьярова В. В. //ІІ Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція “Сучасні проблеми інноваційного розвитку

електричної інженерії” 5–25 квітня 2021 року, м. Мелітополь http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/tezy-konferencyj_nemykina-muhomedjarova.pdf

6. Шевченко М. О. Оцінка заощадження електричної енергії в системі освітлення промислового приміщення / М. О. Шевченко, А. А. Ануліч, О. В. Немикіна // Тиждень науки-2025. Електротехнічний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 14-18 квітня 2025 р. / Редкол. : Вадим Шаломєєв (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 253–255. <https://eir.zp.edu.ua/items/f35304a3-d1ea-42b5-a790-2429be899c22>

7. Немикіна О. В. Оцінка втрат потужності в низьковольтній живильній мережі 0,4 кВ промислового підприємства [Електронний ресурс] / Немикіна О. В., Капля Д. Немикіна О. С. // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: наукові пошуки молоді : матеріали 3-ї Всеукр. наук.-практ. конф., 3 квітня 2025 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Електрон. текст. дані. Харків, 2025. С. 25. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/75d2e549-8fa2-43b3-b22c-dd73cbc454dd/content>

8. Андрієнко А. А. Енергетичні характеристики системи мережа живлення – електропривод кранових установок / Андрієнко А. А., Андрієнко А. П., Немикіна О. В. // Проблеми ресурсозбереження в промисловості та на транспорті : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 23–25 жовт. 2024 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна, О. В. Донець]. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. С. 112–114
с.
https://science.kname.edu.ua/images/dok/konferentsii/2024/Tezy_2024/Materiali_KONFERENCIA_23_25_ZOVTNA_2024.pdf

9. Компресори серії Inversys Plus 5-315 з частотним приводом https://dalgakiran.ua/store/product/Seriya_Inversys_Plus_5-315_s_pryamyim_privodom

10. Тиристорні перетворювачі частоти ТОВ «Термоліт» <https://termolit.ua/ua/g99225004-tiristornye-preobrazovateli-chastoty>

REFERENCES:

1. DSTU 4065-2001 Enerhozberezhennia. Enerhetychnyi audyt. Zahalni tekhnichni vymohy (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ). Z popravkoiu (IPS № 8-2002).

2. DSTU 3886-99. Enerhozberezhennia. Systemy elektropryvodu. Metod analizu ta vyboru - Kyiv: Pidpryemstvo “Elektromekhanika”, 1999.

3. Enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2030 r. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0002120-13>

4. Taryfy na posluhy operatora systemy rozpodilu PAT Zaporizhzhiaoblenerho <https://www.zoe.com.ua/%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%B8-%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/>

5. Nemykina O.V. Vprovadzhennia enerhozberihaiuchykh lamp u vyrobnychykh prymishchenniakh elektrovozoremontnoho zavodu / Nemykina O.V., Mukhomediarova V.V. //II Vseukrainska naukovopraktychna Internet-konferentsiia “Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii” 5–25 kvitnia 2021 roku, m. Melitopol http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/tezy-konferencyj_nemykina-muhomedjarova.pdf

6. Shevchenko M. O. Otsinka zaoshchadzhennia elektrychnoi enerhii v systemi osvittlennia promyslovoho prymishchennia / M. O. Shevchenko, A. A. Anulich, O. V. Nemykina // Tyzhden nauky-2025. Elektrotekhnichni fakultet. Tezy dopovidei naukovopraktychnoi konferentsii, Zaporizhzhia, 14-18 kvitnia 2025 r. / Redkol. : Vadym Shalomieiev (vidpov. red.) Elektron. dani. – Zaporizhzhia : NU «Zaporizka politekhnik», 2025. S. 253–255. <https://eir.zp.edu.ua/items/f35304a3-d1ea-42b5-a790-2429be899c22>

7. Nemykina O. V. Otsinka vtrat potuzhnosti v nyzkovoltnii zhyvylnii merezhi 0,4 kV promyslovoho pidpryemstva [Elektronnyi resurs] / Nemykina O. V., Kaplia D. Nemykina O. S. // Elektroenerhetyka, elektromekhanika ta tekhnolohii v APK: naukovy poshuky molodi : materialy 3-yi Vseukr. nauk.-prakt.

konf., 3 kvitnia 2025 r. / Derzh. biotekhnolohichniy un-t. – Elektron. tekst. dani. Kharkiv, 2025. S. 25. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/75d2e549-8fa2-43b3-b22c-dd73cbc454dd/content>

8. Andriienko A. A. Enerhetychni kharakterystyki systemy merezha zhyvlennia – elektropryvod kranovykh ustanovok / Andriienko A. A., Andriienko A. P., Nemykina O. V. //Problemy resursozberezhennia v promyslovosti ta na transporti : materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf., Kharkiv, 23–25 zhovt. 2024 r. / Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova [ta in. ; redkol.: V. Kh. Daleka, N. I. Kulbashna, O. V. Donets]. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2024. S. 112–114. https://science.kname.edu.ua/images/dok/konferentsii/2024/Tezy_2024/Materiali_KONFERENCIA_23_25_ZOVTNA_2024.pdf

9. Kompresory serii Inversys Plus 5-315 z chastotnym pryvodom https://dalgakiran.ua/store/product/Seriya_Inversys_Plus_5-15_spryamym_privodom

10. Tyrystorni peretvoriuvachi chastoty TOV «Termolit». <https://termolit.ua/ua/g99225004-tiristornye-preobrazovateli-chastoty>

Стаття надійшла до редакції: 14.02.2026; рецензування: 25.02.2026;

прийнята до публікації 05.03.2026. Автори прочитали и дали згоду рукопису.

The article was submitted on 14.02.2026; revised on 25.02.2026; and accepted for publication on 05.03.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.