

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-65>
УДК 621.31

СТАСІВ АНДРІЙ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
<https://orcid.org/0009-0005-2966-5529>
e-mail: astasiv@expres1.com

СУДОМИР ВАЛЕНТИН

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
<https://orcid.org/0009-0007-1173-9272>
e-mail: exopuff@gmail.com

СИСАК ІВАН

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
<https://orcid.org/0000-0002-2315-7911>
e-mail: sisak.tntu@gmail.com

ОРОБЧУК БОГДАН

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
<https://orcid.org/0000-0002-6375-2440>
e-mail: orobchuk@tu.edu.te.ua

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБ'ЄКТУ

В статті запропоновано програмний модуль для розрахунку центру електричних навантажень (ЦЕН) енергетичного об'єкту. Акцентовано увагу на тому, що існує необхідність створення такого програмного модуля для визначення ЦЕН, що зумовлено потребою у швидкому, точному та зручному виконанні інженерних розрахунків, які в ручному режимі потребують значних затрат часу та можуть супроводжуватися помилками. Розглянуто три класичні методи, які дозволяють аналітично визначати ЦЕН. Авторами запропоновано спрощений метод визначення ЦЕН за рахунок розгляду кожного цеху не як сукупності окремих верстатів, для яких потрібно визначати їх координати, а розглядати цех як сукупність розподільчих пристроїв (груп споживачів), до яких підключені дані верстати. Запропоновано програмний модуль для розрахунку ЦЕН, який має український та англійський інтерфейси.

Ключові слова: програмний модуль, центр електричних навантажень, промислове підприємство.

STASIV ANDRII

SUDOMYR VALENTYN

SYSAK IVAN

OROBCHUK BOGDAN

Ternopil National Ivan Puluj Technical University

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE MODULE FOR THE CALCULATION OF ELECTRICAL LOAD CENTER OF POWER FACILITY

*The software module for the calculation of electrical load center (ELC) of power facility is proposed in this paper. Special attention is paid to the requirement of creating such software module for ELC determination. It is caused by the demand of quick, accurate and convenient execution of engineering calculations which in manual mode require significant time and can be accompanied by errors. Such software module is necessary as it automates calculations and eliminates routine manual work; visualizes the results, simplifying interpretation; and contributes to the optimization of power supply, reduction of energy losses, and improvement of network reliability. Three classical methods which make it possible to determinate ELC analytically are considered. The calculation of ELC by means of one of these classical methods, which is cumbersome and time-consuming, is presented. The authors propose a simplified method for ELC determination by considering each workshop not as a set of individual machines for which their coordinates are to be determined, but as a set of distribution devices (groups of consumers) to which these machines are connected. Calculations are significantly simpler and therefore take less time. The software module for ELC calculation is proposed. The program is developed using C# programming language with .NET Framework 4.7.1 environment. The graphical interface is based on **Windows Forms (WinForms)** - a classic technology for creating desktop applications for Windows operating system. Standard WinForms components, including DataGridView for creating the tabular data input form, TextBox for displaying results, and MessageBox for user feedback are actively used in the project. Events (Click, EditingControlShowing, CellClick, etc.) are processed using delegates and lambda expressions, which is a common practice for C#. In order to export tabular data to Excel, the external ClosedXML library is used. It provides simple and efficient work with .xlsx format files without the need to install Microsoft Excel. The program also implements field autofill, input data type validation as well as input error processing with autofill by default. The software module has both Ukrainian and English interfaces. The proposed software module for the determination of electrical load center provides fast and accurate calculations and has convenient and intuitive interface.*

Keywords: software module, electrical load center, industrial enterprise.

Стаття надійшла до редакції / Received 03.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.11.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В умовах стрімкого зростання енергоспоживання, яке спостерігається останніми десятиліттями, системи електропостачання стикаються з новими викликами. Постійне збільшення електричних навантажень обумовлене індустріалізацією, розширенням житлової та комерційної інфраструктури, впровадженням енергоємних технологій, електротранспорту та цифрових сервісів. Цей процес характерний як для мирного часу, так і для воєнного стану, в якому зараз перебуває Україна.

З початком повномасштабної війни країни-агресора росії проти України система електропостачання зазнала масштабних руйнувань і структурних змін. Були знищені та пошкоджені об'єкти генерації, трансформаторні підстанції, розподільчі пункти та повітряні лінії електропередачі. Водночас виникла потреба у перерозподілі навантажень у межах регіонів; будівництві нових енергетичних об'єктів критичної інфраструктури; забезпеченні енергоживлення для тимчасово переміщених підприємств; відновленні житлових та соціальних об'єктів з урахуванням нових навантажень; електрифікації модульних містечок, військових об'єктів, укриттів тощо.

В цих умовах проблема ефективного проектування та реконструкції електромереж вимагає точного визначення центру електричних навантажень. Це дає змогу обґрунтовано визначити місце встановлення нових трансформаторних підстанцій або головних розподільчих підстанцій; мінімізувати втрати електроенергії у відновлюваних мережах; забезпечити надійне та безперебійне електропостачання об'єктів критичної та гуманітарної інфраструктури (лікарень, водоканалів, пунктів обігріву тощо); створити умови для подальшого розвитку регіону після деокупації чи відновлення.

Зростання споживання також посилюється впровадженням резервних джерел живлення, зарядних станцій та генераторів, мобільних акумуляторів, що створюють нові навантаження в локальних мережах, іноді непередбачуваного характеру.

Отже, у сучасних умовах постійного збільшення електричних навантажень, особливо внаслідок військових дій в Україні, надзвичайно важливим стає визначення центру електричних навантажень як ключової інженерної задачі. Це дозволяє забезпечити оптимальну організацію систем електропостачання, ефективно використовувати ресурси для відновлення та стабілізації енергетичної інфраструктури, підвищити її стійкість до кризових ситуацій та адаптувати до нових реалій енергоспоживання.

Аналіз досліджень та публікацій

Проблематика визначення центру електричних навантажень є актуальною в контексті проектування систем електропостачання як промислових об'єктів, так і об'єктів цивільної інфраструктури. У багатьох фахових джерелах розглядаються як класичні методи визначення центру навантажень [1-5], так і сучасні підходи [6-8].

У роботах [1-3, 5] подано класичну методику визначення центру електричних навантажень на основі методу центру ваги. Наводяться формули для обчислення координат центру з урахуванням активної потужності навантажень, що дозволяє здійснювати вибір місця розміщення джерел живлення (трансформаторних підстанцій) з урахуванням мінімізації втрат потужності в мережі.

В роботах [2, 4] аналізується метод визначення центру навантажень в умовах змінного режиму роботи підприємства. Розглядається вплив часової нерівномірності навантажень на положення центру.

В роботі [2] розглянуто метод, згідно з яким раціональне розташування ГРП чи ТП має відповідати мінімуму приведених розрахункових витрат. Передбачається для визначення центру електричних навантажень розв'язок системи алгебраїчних виразів.

В роботі [6] запропоновано алгоритм вирішення задачі визначення місця побудови підстанцій методами дискретного моделювання на базі методу k-середніх.

В роботах [7-8] запропоновано алгоритм розрахунку місць оптимального розташування ГРП та РП системи електропостачання нафтогазових промислів [7] та енергопостачальних компаній [8] з врахуванням ліній зовнішнього живлення.

Проте, існує необхідність створення програмного модуля для визначення центру електричних навантажень, що зумовлено потребою у швидкому, точному та зручному виконанні інженерних розрахунків, які в ручному режимі потребують значних затрат часу та можуть супроводжуватися помилками.

Такий програмний модуль потрібен, оскільки автоматизує обчислення та виключає рутинну ручну роботу; візуалізує результати, що спрощує інтерпретацію; сприяє оптимізації електропостачання, зменшенню втрат енергії та підвищенню надійності мережі.

Таким чином, створення такого модулю є важливим етапом у підвищенні ефективності проектування та модернізації систем електропостачання.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: створення програмного модуля для розрахунку центру електричних навантажень енергетичного об'єкту

Виклад основного матеріалу

Для визначення центру електричних навантажень (ЦЕН) під час проектування на генплан підприємства наноситься картограма електричних навантажень. Вона являє собою розміщені за генпланом окружності, площа котрих πr_i^2 у обраному масштабі m рівна розрахунковим електричним навантаженням P_i [2]:

$$P_i = \pi r_i^2 m, \quad (1)$$

радіус окружності визначається за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}}. \quad (2)$$

Кожне коло ділять на сектори, що відповідають навантаженням.

Картограму навантаження потрібно наносити на генплан окремо для кожного із навантажень: активного та реактивного. Значення активного навантаження дає змогу вибрати раціональне місце розміщення як ПС живлення (ГРП) усього підприємства, так й окремих цехових ТП (ЦТП) [2].

Існують три методи, що дають змогу аналітично розрахувати ЦЕН [2]:

- Перший метод дозволяє визначити ЦЕН у випадку, коли електричні навантаження рівномірно розподілені площею цеху. У випадку, коли розрахункове електричне навантаження кожного цеху P_i , а координати центру кола, яке відображає це навантаження, x_i , y_i , то у довільно прийнятій на генплані системі координат є можливість знайти координати ЦЕН згідно формул [1-3, 5]:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (3)$$

- Другий метод визначення ЦЕН враховує тривалість T_i роботи груп споживачів або окремих цехів.

У цьому випадку координати ЦЕН знаходяться згідно формул [2, 4]:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}, Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i} \quad (4)$$

- Третій метод, згідно з яким раціональне розташування має відповідати мінімуму приведених розрахункових витрат, відображає, що для визначення ЦЕН потрібно розв'язати систему алгебраїчних виразів [2].

Перераховані вище три методи дають змогу визначити ЦЕН як деякий умовний центр, так як в дійсності ЦЕН завжди зміщується в зв'язку з зміною графіку електричних навантажень, змін на підприємстві, розвитку підприємства, припаданням ЦЕН на проїжджу частину підприємства. ПС розміщують близько біля теоретичного ЦЕН із координатами X_0 та Y_0 .

Розглянемо приклад. На рисунку 1 представлено генплан підприємства.

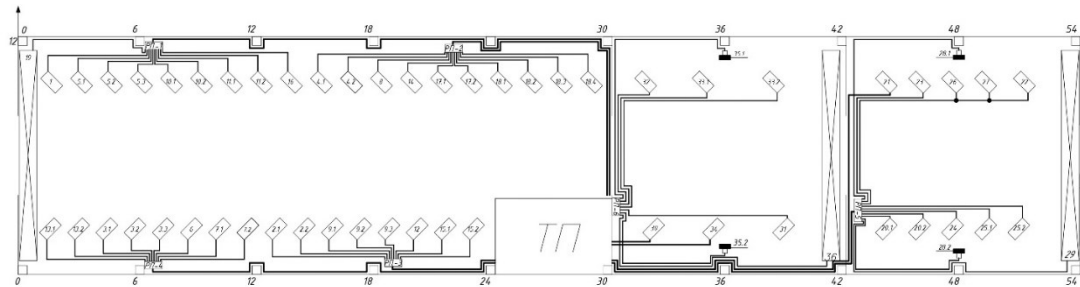


Рис. 1. Генплан підприємства

На даному плані цифрами від 1 до 59 позначено номери виробничого обладнання – верстатів. У випадку, коли верстатів із номером 4 є, наприклад 2, то вони мають позначення 4.1 та 4.2 відповідно. Також на плані зображено 6 РП.

Для розрахунку ЦЕН складемо таблицю 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку ЦЕН.

№ п.п	Назва виробничого обладнання	№ на плані	Встановлена потужність одиниці обладнання P_n , кВт	X_i , м	Y_i , м	$P_n \cdot X_i$	$P_n \cdot Y_i$
1.Механічне відділення							
1	Токарно-гвинторізний верстат	1	28	1,8	9,6	50,40	268,80
2	Токарно-гвинторізний верстат	2.1	4,6	14,0	2,4	64,40	11,04
3	Токарно-гвинторізний верстат	2.2	4,6	15,5	2,4	14,72	44,16
4	Токарно-гвинторізний верстат	2.3	4,6	16,3	2,4	14,72	44,16
5	Токарно-гвинторізний верстат	3.1	12,925	1,8	2,4	23,27	31,02
6	Токарно-гвинторізний верстат	3.2	12,925	3,0	2,4	38,78	31,02
7	Токарно-гвинторізний верстат	4	11,125	17,9	2,4	199,14	26,70
8	Настільно-свердлильний верстат	5.1	0,6	3,2	9,6	1,92	5,76
9	Настільно-свердлильний верстат	5.2	0,6	4,8	9,6	2,88	5,76
10	Настільно-свердлильний верстат	5.3	0,6	6,1	9,6	3,66	5,76
11	Вертикально-свердлильний верстат	6.1	7,125	19,1	2,4	136,09	17,10
12	Вертикально-свердлильний верстат	6.2	7,125	20,5	2,4	83,36	17,10
13	Довбальний верстат	7.1	13,8	4,2	2,4	57,96	33,12
14	Довбальний верстат	7.2	13,8	5,5	2,4	140,76	33,12
15	Довбальний верстат	7.3	13,8	6,5	2,4	140,76	33,12
16	Горизонтально-розточувальний верстат	8	18,95	17,0	9,6	322,15	181,92

Продовження таблиці 1

17	Поперечно-стругальний верстат	9.1	14,5	21,9	2,4	317,55	34,80
18	Поперечно-стругальний верстат	9.2	14,5	23,3	2,4	337,85	34,80
19	Універсально-фрезерний верстат	10.1	3,4	7,1	9,6	24,14	32,64
20	Універсально-фрезерний верстат	10.2	3,4	9,1	9,6	32,30	32,64
21	Універсально-фрезерний верстат	10.3	3,4	10,9	9,6	32,30	32,64
22	Копіювально-фрезерний верстат	11	3,5	12,3	9,6	43,05	33,60
23	Координатно-розточувальний верстат	12.1	2,25	7,8	2,4	17,55	5,40
24	Координатно-розточувальний верстат	12.2	2,25	9,2	2,4	45,00	5,40
25	Плоско-шліфувальний верстат	13.1	2,8	10,3	2,4	28,84	6,72
26	Плоско-шліфувальний верстат	13.2	2,8	11,8	2,4	33,04	6,72
27	Плоско-шліфувальний верстат	13.3	2,8	12,9	2,4	36,12	6,72
28	Внутрішньо-шліфувальний верстат	14.1	17,525	18,5	9,6	324,21	168,24
29	Внутрішньо-шліфувальний верстат	14.2	17,525	20,0	9,6	350,50	168,24
30	Кругло-шліфувальний верстат	15	9,585	24,5	2,4	234,83	23,00
31	Зубо-фрезерний верстат	16	10,85	14,0	9,6	151,90	104,16
32	Горизонтально-фрезерний верстат	17.1	8,7	21,5	9,6	187,05	83,52
33	Горизонтально-фрезерний верстат	17.2	8,7	23,0	9,6	200,10	83,52
34	Настільний різьбо-нарізний верстат	18.1	0,6	24,5	9,6	14,70	5,76
35	Настільний різьбо-нарізний верстат	18.2	0,6	26,0	9,6	15,60	5,76
36	Настільний різьбо-нарізний верстат	18.3	0,6	27,5	9,6	16,50	5,76
37	Настільний різьбо-нарізний верстат	18.4	0,6	29,0	9,6	16,50	5,76
38	Кран мостовий електричний	19	24,2	0,5	6,0	12,10	145,20
	Всього:	38	310,26			3766,69	1820,66
2.Заготівельне відділення							
39	Верстат відрізний з дисковою пилою	20	8,825	44,6	9,6	393,60	84,72
40	Ножниці гільотинні	21	17	44,6	2,4	758,20	40,80
41	Механічна пила	22	1,7	46,5	9,6	79,05	16,32
42	Вальці чистоправні	23	9	48,1	9,6	432,90	86,40
43	Прес однокривошипний подвійної дії	24.1	10	46,5	2,4	465,00	24,00
44	Прес однокривошипний подвійної дії	24.2	10	48,1	2,4	480,00	24,00
45	Прес фрикційний	25	14,5	49,8	2,4	722,10	34,80
46	Вертикально-свердильний верстат	26	2,8	51,5	2,4	144,20	6,72
47	Обдирно-точильний верстат	27.1	2,8	49,8	9,6	139,44	26,88
48	Обдирно-точильний верстат	27.2	2,8	51,5	9,6	139,44	26,88
49	Вентилятор	28	4,5	48,0	1,1	216,00	4,95
50	Кран-балка електрична	29	7,3	54,0	6,0	394,20	43,80
	Всього:	12	91,225			4364,13	420,27
3.Ковальсько-термічне відділення							
51	Молот пневматичний ковальський	30	55	33,0	2,4	1815,00	132,00
52	Молот пневматичний ковальський	31	10	39,5	2,4	395,00	24,00
53	Камерна електропіч опору (1300 °C)	32	30	32,2	9,6	966,00	288,00
54	Електропіч-ванна (850 °C)	33.1	20	35,1	9,6	702,00	192,00
55	Електропіч-ванна (850 °C)	33.2	20	39,0	9,6	780,00	192,00
56	Шахтна електропіч опору	34	75	36,0	2,4	2700,00	180,00
57	Вентилятор	35.1	2,8	36,0	11,0	100,80	30,80
58	Вентилятор	35.2	2,8	36,0	1,0	100,80	2,80
59	Кран-балка електрична	36	7,3	36,0	6,0	262,80	43,80
	Всього:	9	222,90			7822,40	1085,40
	Всього по цеху:	59	624,385			15953,22	3326,33

Координати ЦЕН:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^{59} p_{ni} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{59} p_{ni}} = \frac{15953,22}{624,395} = 25,55 \text{ м}; y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{59} p_{ni} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{59} p_{ni}} = \frac{3326,33}{624,385} = 5,33 \text{ м.} \quad (5)$$

Із представленої таблиці 1 можна зробити висновок, що проведений розрахунок є громіздким і потребує великих витрат часу.

Авторами статті запропоновано спростити даний метод розрахунку ЦЕН. Це можливо зробити за рахунок розгляду кожного цеху не як сукупності окремих верстатів, для яких потрібно визначати їх координати. Авторами пропонується розглядати цех як сукупність РП (груп споживачів), до яких підключені дані верстати. При цьому слід враховувати споживачів, які підключені окремо – не через РП.

Розглянемо приклад.

Наведемо таблицю 2 для спрощеного розрахунку центру електричних навантажень.

Таблиця 2

Результати спрощеного розрахунку центру електричних навантажень.

№ п.п	Назва виробничого обладнання	№ на плані	Встановлена потужність обладнання Р _н , кВт	Х _і , м	У _і , м	Р _н ·Х _і	Р _н ·У _і
1	Розподільчий пункт	РП1	78,55	7	11,7	549,85	919,035
2	Розподільчий пункт	РП2	73,8	22,5	11,7	1660,5	863,46
3	Розподільчий пункт	РП3	77,76	19,5	0,3	1516,32	23,328
4	Розподільчий пункт	РП4	80,15	7	0,3	561,05	24,045
5	Розподільчий пункт	РП5	91,225	43	3,2	3922,675	291,92
6	Розподільчий пункт	РП6	92,9	30,5	3,5	2833,45	325,15
7	Молот пневматичний ковальський	30	55	33	2,4	1815	132
8	Шахтна електропіч опору(650 °С)	34	75	36	2,4	2700	180
	Всього:		624,385			15558,85	2758,938

$$x_{0\text{РП}} = \frac{\sum_{i=1}^8 P_{ni} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^8 P_{ni}} = \frac{15558,85}{624,385} = 24,91867 \text{ м}; y_{0\text{РП}} = \frac{\sum_{i=1}^8 P_{ni} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^8 P_{ni}} = \frac{2758,938}{624,385} = 4,418649 \text{ м.} \quad (6)$$

Як бачимо з наведеної таблиці 2, розрахунки є набагато простішими, відповідно займають менше часу. Розраховані координати центру електричних навантажень як за першим, так і за другим методами практично співпадають, тому в подальшому для розрахунку можна користуватися спрощеним методом, запропонованим авторами.

Авторами статті запропоновано програмний модуль для розрахунку центру електричних навантажень як за першим так і за спрощеним методами.

Програма розроблена за допомогою мови програмування C# з використанням середовища .NET Framework 4.7.1. Основу графічного інтерфейсу становить **Windows Forms (WinForms)** — класична технологія створення настільних застосунків для операційної системи Windows. У проєкті активно використовуються стандартні компоненти WinForms, зокрема **DataGridView** для побудови табличної форми введення даних, **TextBox** для відображення результатів і **MessageBox** для зворотного зв'язку з користувачем. Події (**Click**, **EditingControlShowing**, **CellClick** тощо) обробляються за допомогою делегатів і лямбда-виразів, що є типовою практикою для C#.

Для експорту табличних даних до Excel використовується зовнішня бібліотека **ClosedXML**, яка забезпечує просту та ефективну роботу з файлами формату .xlsx без необхідності встановлення Microsoft Excel. У програмі також реалізовані автозаповнення полів, перевірка типу введених даних, а також обробка помилок введення з автоматичним заповненням за замовчуванням.

Імплементація формули:

```
public static float ParseCellOrReplace(DataGridViewCell cell)
{
    if (cell == null || cell.Value == null)
    {
        cell.Value = 1f;
        return 1f;
    }
    if (float.TryParse(cell.Value.ToString(), out float result))
    {
        return result;
    }
    else
    {
        cell.Value = 1f;
        return 1f;
    }
}
```

```

private float SumColumn(int columnNumber)
{
    float sum = 0f;
    foreach (DataGridViewRow row in grid.Rows)
    {
        // Skip the new row placeholder
        if (row.IsNewRow)
            continue;
        var cell = row.Cells[columnNumber];
        if (cell.Value != null && float.TryParse(cell.Value.ToString(), out float value))
        {
            sum += value;
        }
    }
    return sum;
}

private void calculateButton_Click(object sender, EventArgs e)
{
    for (int i = 0; i < grid.RowCount; i++)
    {
        var row = grid.Rows[i];
        if (row.IsNewRow) continue;
        float power = ParseCellOrReplace(row.Cells[3]); // PH
        float xi = ParseCellOrReplace(row.Cells[4]); // Xi
        float yi = ParseCellOrReplace(row.Cells[5]); // Yi
        row.Cells[6].Value = (power * xi).ToString(); // PH·Xi
        row.Cells[7].Value = (power * yi).ToString(); // PH·Yi
    }
    float totalPower = SumColumn(3); // PH
    float totalPowerX = SumColumn(6); // PH·Xi
    float totalPowerY = SumColumn(7); // PH·Yi
    float x = totalPower != 0 ? totalPowerX / totalPower : 0;
    float y = totalPower != 0 ? totalPowerY / totalPower : 0;
    textBoxSumPower.Text = totalPower.ToString();
    textBoxSumPowerX.Text = totalPowerX.ToString();
    textBoxSumPowerY.Text = totalPowerY.ToString();
    textBoxXValue.Text = x.ToString();
    textBoxYValue.Text = y.ToString();
}

```

На рис. 1 представлено інтерфейс запропонованого програмного модуля розрахунку центру електричних навантажень (українська версія).

	Назва виробничого обладнання	№ на плані	Встановлена потужність одиниці обладнання P _н , кВт	X _i , м	Y _i , м	P _н ·X _i	P _н ·Y _i
1	Розподільний пункт	РП1	78,55	7	11,7	549,85	919,035
2	Розподільний пункт	РП2	73,8	22,5	11,7	1660,5	863,46
3	Розподільний пункт	РП3	77,76	19,5	0,3	1516,32	23,328
4	Розподільний пункт	РП4	80,15	7	0,3	561,05	24,045
5	Розподільний пункт	РП5	91,225	43	3,2	3922,675	291,92
6	Розподільний пункт	РП6	92,9	30,5	3,5	2833,45	325,15
7	Молот пневматичний ковальський	30	55	33	2,4	1815	132
8	Шахта електроліч опору (650 °C)	34	75	35	2,4	2700	180

Результат обчислень

Сума потужностей : 624,385

Сума добутку першого : 15558,84 Сума добутку другого : 2758,938

X: 24,91867 Y: 4,418649

Рис. 1. Програмний модуль розрахунку центру електричних навантажень (українська версія)

В програмному комплексі можна автоматично задавати будь-яку кількість споживачів, щоб не здійснювати це поступовим додаванням одного рядка. Це відображено на рис. 2.

Рис. 2. Задання кількості споживачів

Передбачено додавання одного рядка натисненням кнопки Додати рядок. Також можна видалити рядок натиснувши на клавішу X.

Назва виробничого обладнання заповнюється із типової бібліотеки (рис. 3).

		Назва виробничого обладнання	№ на плані	Встановлена потужність одиниці обладнання P _n , кВт	X _i , м	Y _i , м	P _n ·X _i	P _n ·Y _i
1	X	Вальці чистоправні						
2	X	Вальці чистоправні						
3	X	Вентилятор						
4	X	Верстат відрізний з дисковою пилою						
5	X	Вертикально-свердильний верстат						
6	X	Внутрішньо-шліфувальний верстат						
7	X							
8	X							

Рис. 3. Вибір назви виробничого обладнання із типової бібліотеки

Також передбачено індивідуальне задання назви обладнання, котре не передбачене типовою бібліотекою.

Є можливість експорту отриманих результатів у Microsoft Excel без необхідності попередньої інсталяції Microsoft Office. Забезпечується проста та ефективна робота з файлами формату .xlsx.

Розрахунки проводяться натисненням кнопки Розрахувати.

Програмний комплекс має дві мови інтерфейсу: українську і англійську. Переключення мов здійснюється натисненням клавіші Eng/Укр.

Англійська версія запропонованого програмного модуля представлена на рис. 4.

Рис. 4. Англійська версія програмного модуля

Результати отримані в таблиці 2 та рисунку 1 повністю співпадають, що підтверджує верифікацію запропонованого програмного модуля.

Отже, запропонований програмний модуль для визначення центру електричних навантажень забезпечує швидкі та точні розрахунки, має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розглянуто три класичні методи, які дозволяють аналітично визначати центр електричних навантажень (ЦЕН). Представлено розрахунок ЦЕН за одним із класичних методів, що є громіздким і потребує великих витрат часу. Запропоновано спрощений метод визначення ЦЕН за рахунок розгляду кожного цеху не як сукупності окремих верстатів, для яких потрібно визначати їх координати, а розглядати цех як сукупність розподільчих пристроїв (груп споживачів), до яких підключені дані верстати. Розрахунки є набагато простішими, відповідно займають менше часу.

Запропоновано програмний модуль для розрахунку ЦЕН. Програма розроблена за допомогою мови програмування **C#** з використанням середовища **.NET Framework 4.7.1**. Основу графічного інтерфейсу становить **Windows Forms (WinForms)** — класична технологія створення настільних застосунків для операційної системи Windows. У проєкті активно використовуються стандартні компоненти WinForms, зокрема **DataGridView** для побудови табличної форми введення даних, **TextBox** для відображення результатів і **MessageBox** для зворотного зв'язку з користувачем. Події (**Click**, **EditingControlShowing**, **CellClick** тощо) обробляються за допомогою делегатів і лямбда-виразів, що є типовою практикою для **C#**. Для експорту табличних даних до Excel використовується зовнішня бібліотека **ClosedXML**, яка забезпечує просту та ефективну роботу з файлами формату **.xlsx** без необхідності встановлення Microsoft Excel. У програмі також реалізовані автозаповнення полів, перевірка типу введених даних, а також обробка помилок введення з автоматичним заповненням за замовчуванням. Програмний модуль має український та англійський інтерфейси. Запропонований програмний модуль для визначення центру електричних навантажень забезпечує швидкі та точні розрахунки, має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Література

1. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л.М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2011. 204 с.
2. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання. Дніпропетровськ : Нац. гірн. ун-т, 2012. 463 с.
3. Розрахунок центру електричних навантажень у сучасних умовах / Г. О. Макачук та ін. *Матеріали МНТК „фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій”*. 2025. С. 44–45.
4. Попов В. А., Ткаченко В. В., Ярмолук О. С. Проєктування систем забезпечення споживачів електричною енергією. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 222 с.
5. Маліновський А. А., Хохулін Б. К., Основи електроенергетики та електропостачання: підручник. Львів : Вид-во Нац. ун-ту Львів. політехніка, 2009. 436 с.
6. Федосенко М. М., Кудієв П. В., Вінничук В. В. Визначення оптимального числа і місць розташування підстанцій міських розподільних мереж електропостачання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2016. № 2. С. 13–17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2016_2_4.
7. Романюк Ю. Ф., Соломчак О. В., Соломчак А. О. Вибір оптимального розміщення головних розподільчих підстанцій (розподільчих пунктів) в мережах енергопостачальних компаній з врахуванням ліній зовнішнього живлення. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Електроенергетичні та електромеханічні системи*. 2013. № 763. С. 91–97. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPEEC_2013_763_18.
8. Романюк Ю. Ф., Соломчак О. В., Соломчак А. О. Вибір місць оптимального розташування головних розподільчих підстанцій (розподільчих пунктів) у нафтопромислових електричних мережах із врахуванням ліній зовнішнього живлення. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. № 3. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rnng_2012_3_17.

References

1. Burbelo M. Y., Biriukov O. O., Melnychuk L.M. Systemy elektropostachannia. Elementy teorii ta pryklady rozrakhunkiv : navch. posib. Vinnytsia : VNTU, 2011. 204 s.
2. Shkrabets F. P. Osnovy elektropostachannia. Dnipropetrovsk : Nats. him. un-t, 2012. 463 s.
3. Rozrakhunok tsentru elektrychnykh navantazhen u suchasnykh umovakh / H. O. Makarchuk ta in. *Materialy MNTK „Fundamentalni ta prykladni problemy suchasnykh tekhnolohii”*. 2025. S. 44–45.
4. Popov V. A., Tkachenko V. V., Yarmoliuk O. S. Proiektuvannia system zabezpechennia spozhyvachiv elektrychnoiu enerhiiei. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. 222 s.
5. Malinovskiy A. A., Khokhulin B. K., Osnovy elektroenerhetyky ta elektropostachannia: pidruchnyk. Lviv : Vyd-vo Nats. un-tu Lviv. politehnika, 2009. 436 s.
6. Fedosenko M. M., Kudiev P. V., Vinnichuk V. V. Vyznachennia optymalnogo chysla i mistv roztashuvannia pidstantsii miskyykh rozpodilnykh merezh elektropostachannia. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. 2016. № 2. S. 13–17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2016_2_4.
7. Romaniuk Yu. F., Solomchak O. V., Solomchak A. O. Vybir optymalnogo rozmishchennia holovnykh rozpodilchykh pidstantsii (rozpodilchykh punktiv) v merezhakh enerhopostachalnykh kompanii z vrakhuvanniam linii zovnishnoho zhyvlennia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika". Elektroenerhetychni ta elektromekhanichni systemy*. 2013. № 763. S. 91–97. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPEEC_2013_763_18.
8. Romaniuk Yu. F., Solomchak O. V., Solomchak A. O. Vybir mistv optymalnogo roztashuvannia holovnykh rozpodilchykh pidstantsii (rozpodilchykh punktiv) u naftopromyslovykh elektrychnykh merezhakh iz vrakhuvanniam linii zovnishnoho zhyvlennia. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshech*. 2012. № 3. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rnng_2012_3_17.