

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування факультету)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка  
до магістерської кваліфікаційної роботи**

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ  
ТЕХНОЛОГІЇ САПР

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-17м  
Спеціальність 141»Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки)

Воробей А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Шулле Ю. А.

(прізвище та ініціали)

Вінниця ВНТУ – 2019 року

**Актуальність теми.** Система електропостачання (СЕП) – це сукупність електроустановок пов'язаних єдиним процесом виробництва, передачі, перетворення і розподілу електричної енергії по споживачам. Основними факторами, які характеризують систему електропостачання є вартість її спорудження, надійність і економічність передачі електричної енергії споживачам (рівень втрат електричної енергії), а також дотримання в допустимих межах показників якості електричної енергії. Для створення доскональної, надійної та енергоефективної системи електропостачання розробляється проект. Проектування СЕП - процес складання опису ще не існуючої СЕП необхідного і достатнього для її створення. На сьогоднішній день використання сучасних технологій САПР для проектування СЕП є гарантією створення енергоефективних систем електропостачання. Це обумовлено позитивним ефект використання САПР, що можна охарактеризувати такими тезами: збільшення ймовірності бездефектного проектування, тобто збільшення ймовірності того, що проектні рішення не будуть утримувати помилок; зменшення витрат в об'єкт проектування, тобто СЕП, за рахунок вибору оптимальних проектних рішень із множини всіх доступних, що неможливо було б виконати за межами САПР СЕП; зменшення терміну та витрат на проектування; зменшення кількості інженерно-технічних працівників, зайнятих проектуванням СЕП, що відбувається за рахунок підвищення кваліфікації кожного проектанта і збільшення ефективності його роботи в порівнянні з іншими технологіями проектування СЕП, що досягається використанням САПР СЕП. Отже, використання сучасних технологій САПР для проектування енергоефективних СЕП обумовлює актуальність цієї роботи.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення енергоефективності системи електропостачання на основі технологій систем автоматизованого проектування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- розглянути основні поняття САПР, процес проектування СЕП та її автоматизацію;
- провести аналіз математичного забезпечення САПР;
- розглянути питання автоматизації прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою САПР MathCad та EXCEL;
- дослідити варіанти розрахунку економічної ефективності САПР;
- розглянути питання охорони праці на підприємстві.

**Об'єктом дослідження** є процес споживання електричної енергії підприємством.

**Предметом дослідження** є використання сучасних технологій САПР для проектування енергоефективних СЕП.

Система автоматизованого проектування СЕП – організаційно-технічна система, що складає комплекс засобів автоматизації проектування СЕП, взаємозв'язана з підрозділами проектної організації та колективом спеціалістів.

Необхідність та доцільність автоматизації проектування (АП) СЕП може бути охарактеризована такими основними тезами:

- Можливість автоматичного виконання трудомістких ручних операцій. Звільнення людини для творчої праці.
- Виконання інженерних розрахунків, які важко, довго або неможливо виконати вручну.
- Можливість врахування в проектних розрахунках значної кількості факторів, що впливають на результат.
- Можливість багатоваріантних розрахунків з врахуванням всіх доступних альтернатив.
- Можливість коректного розв'язання оптимізаційних проектних задач.
- Можливість реалізації системного підходу.

Позитивний ефект використання САПР СЕП можна охарактеризувати такими тезами:

- Збільшення ймовірності бездефектного проектування. Тобто збільшення ймовірності того, що проектні рішення не будуть утримувати помилок.
- Зменшення витрат в об'єкт проектування – СЕП. В основному це відбувається за рахунок вибору оптимальних проектних рішень із множини всіх доступних, що неможливо було б виконати за межами САПР СЕП.
- Зменшення витрат на проектування.
- Зменшення терміну проектування.
- Зменшення кількості інженерно-технічних працівників, зайнятих проектуванням СЕП. Це відбувається за рахунок підвищення кваліфікації кожного проектанта і збільшення ефективності його роботи в порівнянні з іншими технологіями проектування СЕП, що досягається використанням САПР СЕП.[3]

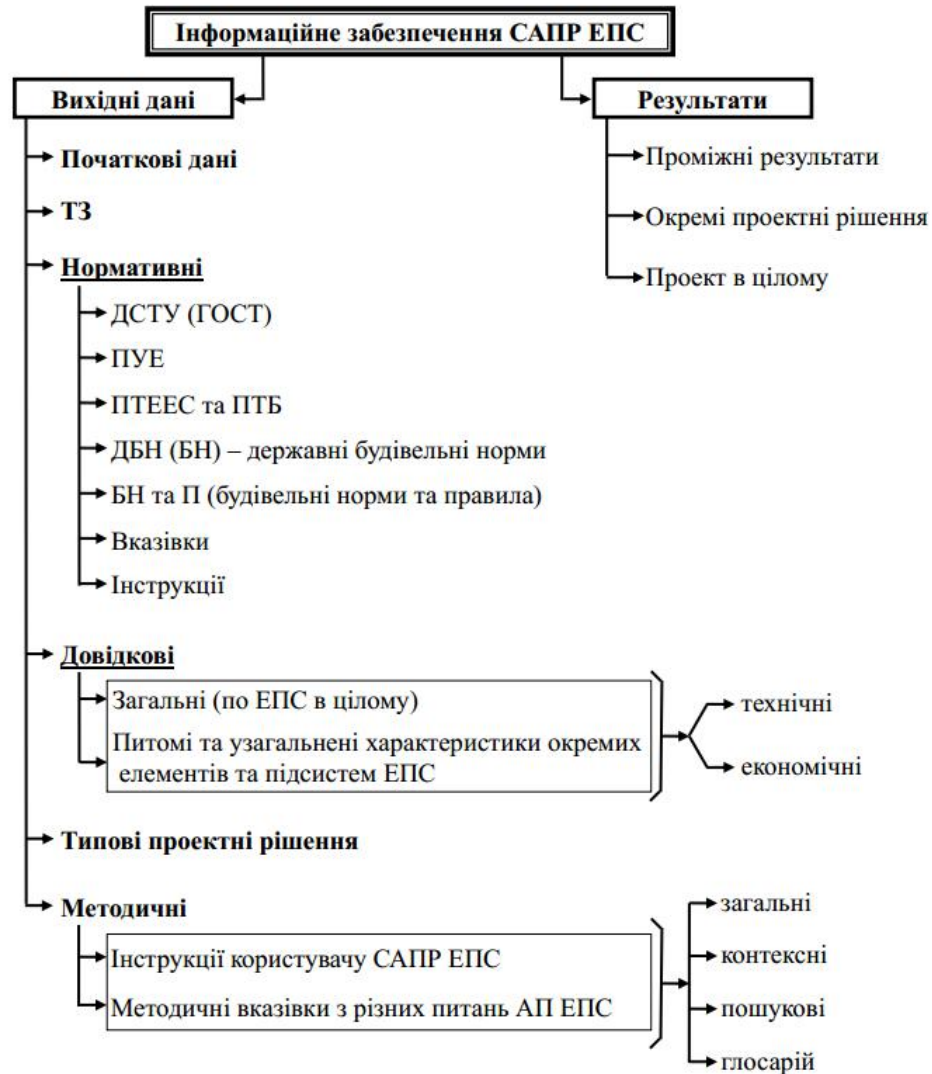


Рисунок 1 – Інформаційне забезпечення САПР СЕП

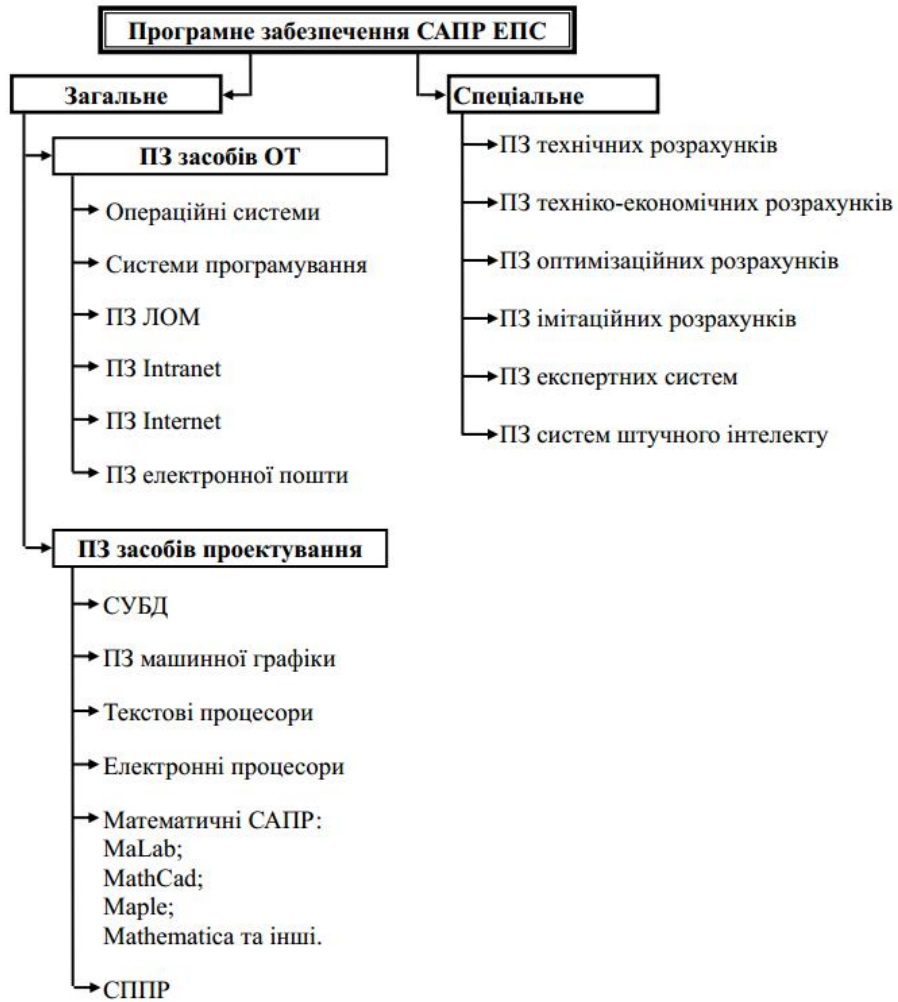


Рисунок 2 – Програмне забезпечення САПР ЕПС

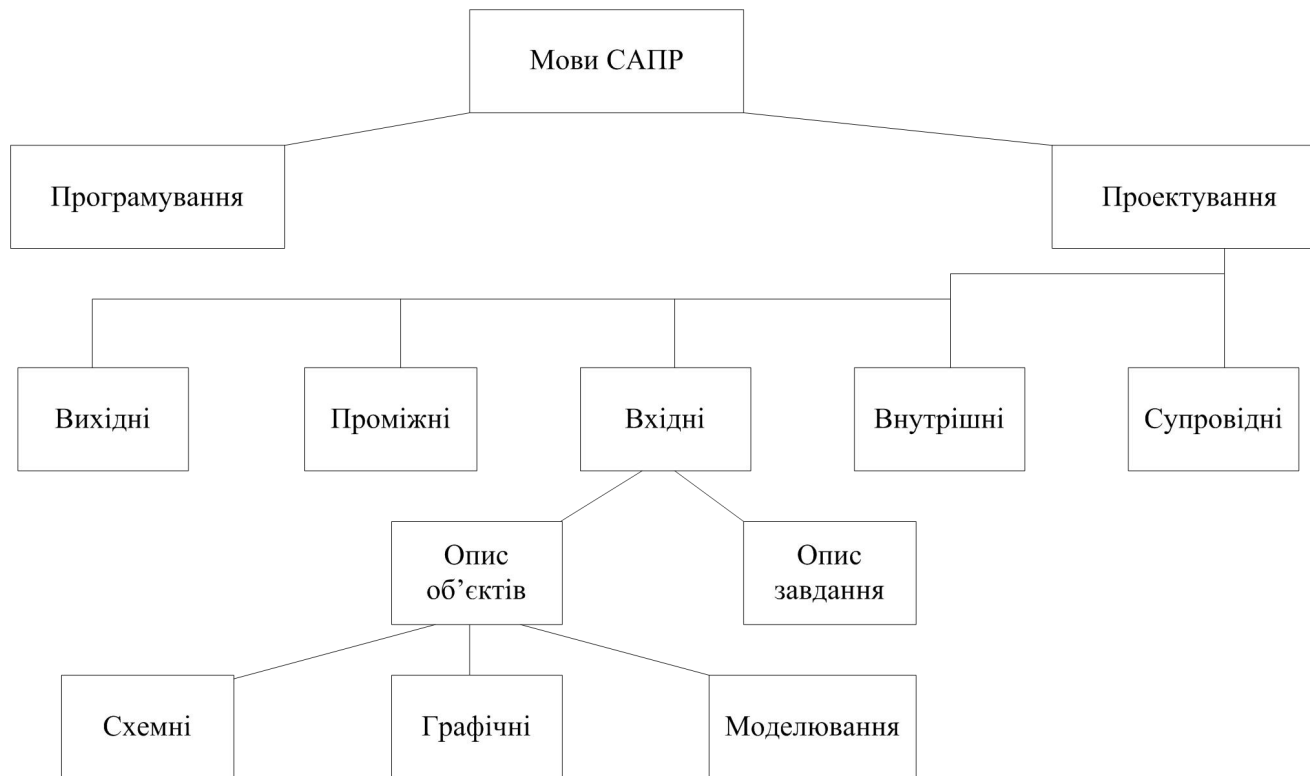


Рисунок 3 – Класифікація мов САП

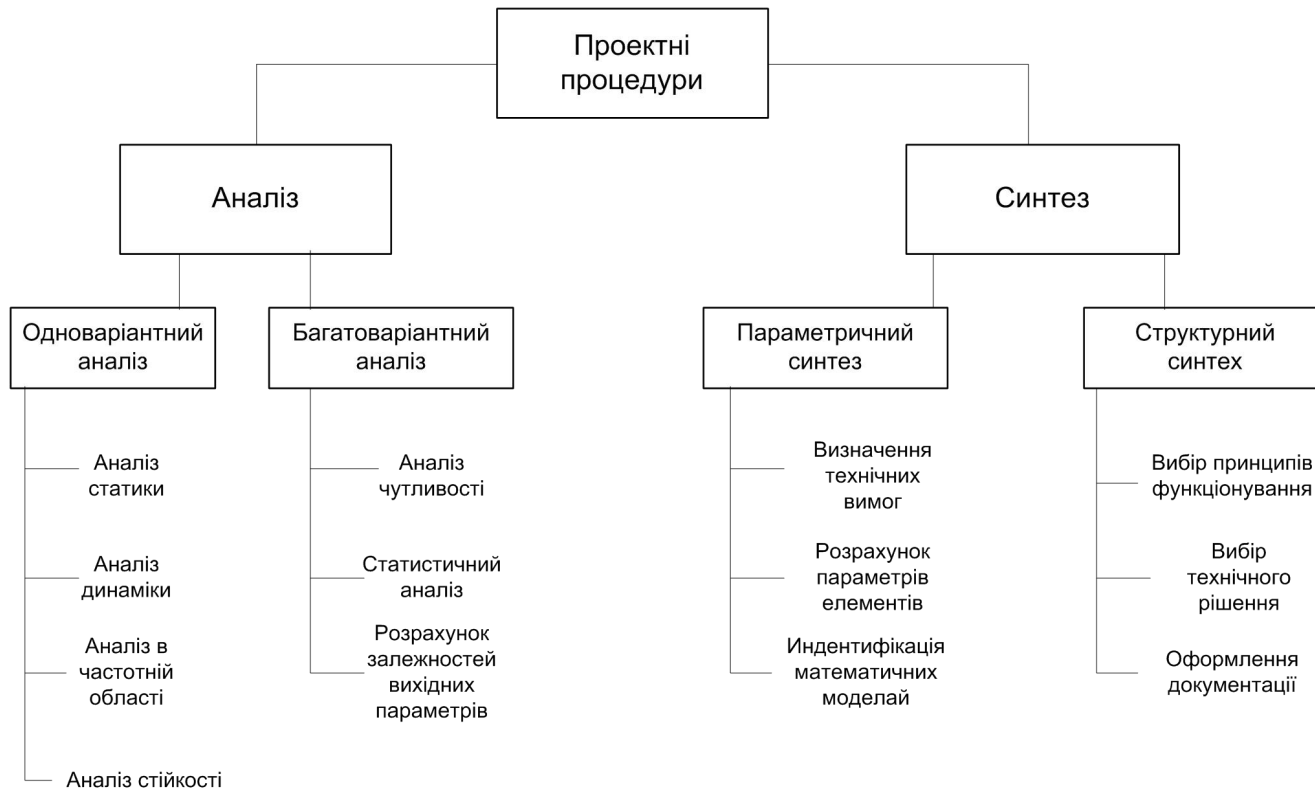


Рисунок 4 – Класифікація типових проектних процедур



## Етапи прийняття оптимальних проектних рішень

№ п/п	Етапи прийняття оптимальних проектних рішень	Тип етапу
1	Формування мети: - вибір керованих змінних; - оцінка множини доступних рішень.	Концептуальний
2	Вибір показників ефективності рішень.	Концептуальний
3	Вибір критерію оптимальності.	Концептуальний
4	Вираження ПЕР через керовані змінні.	Формальний
5	Формування обмежень на можливі значення керованих змінних.	Концептуальний
6	Оцінка множини допустимо-доступних рішень. В більшості випадків реальних складних задач прийняття проектних рішень явно визначити множину допустимо доступних рішень не видається можливим. Неявно ця множина задається всією сукупністю обмежень на керовану змінну.	Концептуальний
7	Оцінка класу одержаної математичної моделі прийняття рішень та її розв'язок відповідними методами. У випадку відсутності методу розв'язку проектної задачі згідно отриманої математичної моделі виникне необхідність у створенні такого методу.	Формальний
8	Прийняття проектного рішення на основі отриманих розв'язків проектних задач.	Концептуальний

# Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою математичного САПР MathCad

Дані потужностей споживачів:

$$P1 := 40 \text{ кВт} \quad P2 := 20 \text{ кВт} \quad P3 := 50 \text{ кВт} \quad P4 := 25 \text{ кВт}$$

$$P5 := 60 \text{ кВт} \quad P6 := 20 \text{ кВт}$$

Навантаження протягом зміни змінюються по рівномірному закону. Виконати розрахунок еліпса розсіювання електричних навантажень шість споживачів на протяжні зміни.

Розв'язок  
 $ORIGIN := 1 \quad k := 6 \quad n := 8 \quad j := 1..n \quad i := 1..k$

$$P1 := \text{norm}(8, 40, 10) \quad P2 := \text{norm}(8, 20, 8) \quad P3 := \text{norm}(8, 50, 10)$$

$$P4 := \text{norm}(8, 25, 8) \quad P5 := \text{norm}(8, 60, 15)$$

$$P1 = \begin{pmatrix} 42.788 \\ 41.622 \\ 44.285 \\ 35.248 \\ 33.045 \\ 70.482 \\ 37.135 \\ 27.201 \end{pmatrix} \quad P2 = \begin{pmatrix} 26.075 \\ 16.858 \\ 10.372 \\ 11.705 \\ 19.845 \\ 20.256 \\ 22.119 \\ 23.932 \end{pmatrix} \quad P3 = \begin{pmatrix} 52.383 \\ 43.155 \\ 33.852 \\ 64.113 \\ 59.715 \\ 38.44 \\ 51.437 \\ 66.972 \end{pmatrix}$$

$$P4 = \begin{pmatrix} 25.716 \\ 35.095 \\ 19.356 \\ 25.015 \\ 33.861 \\ 32.14 \\ 1.793 \\ 7.743 \end{pmatrix} \quad P5 = \begin{pmatrix} 63.091 \\ 50.762 \\ 42.034 \\ 61.486 \\ 71.561 \\ 64.589 \\ 60.17 \\ 48.533 \end{pmatrix} \quad P6 = \begin{pmatrix} 20.55 \\ 20.78 \\ 10.11 \\ 10.85 \\ 11.26 \\ 20.08 \\ 19.02 \\ 22.08 \end{pmatrix}$$

$$P_{1,j} := P1_j \quad P_{2,j} := P2_j \quad P_{3,j} := P3_j \quad P_{4,j} := P4_j \quad P_{5,j} := P5_j \quad P_{6,j} := P6_j$$

$$P = \begin{pmatrix} 42.788 & 41.622 & 44.285 & 35.248 & 33.045 & 70.482 & 37.135 & 27.201 \\ 26.075 & 16.858 & 10.372 & 11.705 & 19.845 & 20.256 & 22.119 & 23.932 \\ 52.383 & 43.155 & 33.852 & 64.113 & 59.715 & 38.44 & 51.437 & 66.972 \\ 25.716 & 35.095 & 19.356 & 25.015 & 33.861 & 32.14 & 1.793 & 7.743 \\ 63.091 & 50.762 & 42.034 & 61.486 & 71.561 & 64.589 & 60.17 & 48.533 \\ 20.55 & 20.78 & 10.11 & 10.85 & 11.26 & 20.08 & 19.02 & 22.08 \end{pmatrix}$$

Координати споживачів

$$mm := 20$$

$$mm := 40$$

$$x_i := (i)^{0.5} \cdot mm \quad x_i =$$

20
28
35
40
45
49

$$y_i := (i \cdot mm)^{0.5} \quad y_i =$$

4
6
8
9
10
11

Координати умовного ЦЕН для кожної години роботи

$$X0_j := \frac{\sum_{i=1}^k (P_{i,j} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^k P_{i,j}} \quad Y0_j := \frac{\sum_{i=1}^k (P_{i,j} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^k P_{i,j}}$$

Координати середнього ЦЕН за зміну

$$XS := \frac{\sum_{j=1}^n X0_j}{n} \quad YS := \frac{\sum_{j=1}^n Y0_j}{n}$$

$$X0 = \begin{pmatrix} 35.84 \\ 35.992 \\ 34.38 \\ 36.172 \\ 36.623 \\ 34.441 \\ 35.709 \\ 36.154 \end{pmatrix} \quad Y0 = \begin{pmatrix} 8.014 \\ 8.048 \\ 7.688 \\ 8.088 \\ 8.189 \\ 7.701 \\ 7.985 \\ 8.084 \end{pmatrix} \quad XS = 35.664 \quad YS = 7.975$$

Числові характеристики знайденого емпіричного розподілу

$$SX := \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X0_j - XS)^2}{n}} \quad SY := \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y0_j - YS)^2}{n}}$$

$$SX = 0.767 \quad SY = 0.171$$

Піввісі еліпса зони розсіювання ЦЕН

$$R_x := \sqrt{6} \cdot SX \quad R_y := \sqrt{6} \cdot SY$$

$$R_x = 1.878 \quad R_y = 0.42$$

Визначення перерізу живлячих КЛ

Економічна густина струму для КЛ

$$J_e := 1.4 \frac{A}{\text{мм}^2}$$

Номінальна напруга живлячих ліній

$$U := 0.4 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт потужності  $\cos \Phi = 0.8$

Мінімальний перебіг кабелів в мм<sup>2</sup>

$$S_{x1} := \frac{\sum_{j=1}^n P_{i,j}}{0.8 \cdot \sqrt{3} \cdot n \cdot J_e \cdot U}$$

$$S_x = \begin{pmatrix} 53.451 \\ 24.351 \\ 66.058 \\ 29.112 \\ 74.46 \\ 21.704 \end{pmatrix} \quad S_x := \begin{pmatrix} 50 \\ 35 \\ 35 \\ 35 \\ 90 \\ 16 \end{pmatrix}$$

Матриця коефіцієнтів, враховуючи переріз кабелів

$$C_{x1} := \frac{S_{x1}}{90} \quad C_x = \begin{pmatrix} 0.556 \\ 0.389 \\ 0.389 \\ 0.389 \\ 1 \\ 0.178 \end{pmatrix}$$

Визначення координат ЦЕН за допомогою критерію оптимальності

Цільова функція (мінімум вартості передачі енергії)

$$R(XS, YS) := \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \frac{P_{i,j} \cdot \sqrt{(x_i - XS)^2 + (y_i - YS)^2}}{C_{x1}}$$

$$\text{Given } \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \end{pmatrix} := \text{Minimize}(R, XS, YS) \quad \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 34.6 \\ 7.7 \end{pmatrix} \quad \text{Координати ЦЕН}$$

При розв'язку задачі мінімуму вартість передачі енергії координатів ЦЕН вийшли інші відносно знайдених раніше, але в зоні розсіювання. Звідси робимо висновок, що розв'язок вірний.

Коефіцієнт кореляції зони розсіювання

$$K_{xk} := \frac{\sum_{j=1}^n [(X0_j - X_s)(Y0_j - Y_s)]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X0_j - X_s)^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n (Y0_j - Y_s)^2}} \quad K_x = 1$$

Кут між вісями еліпса та вісями координат

## Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою математичного САПР MathCad

$$a := \frac{\operatorname{atan}\left(\frac{2 \cdot K_k \cdot SX \cdot SY}{SX^2 - SY^2}\right)}{2} \quad \text{alfa} := a \cdot \frac{180}{\pi} \quad a = 0.22$$

Координати ЦЕН  $X_s = 34.641$   $Y_s = 7.975$

Середнє квадратичне відхилення  $SX = 0.767$   $SY = 0.171$

Піввісі еліпсу розсіювання  $R_x = 1.878$   $R_y = 0.42$

Коефіцієнт кореляції  $K_k = 1$

Кут повороту еліпсу  $\text{alfa} = 12.604$  град

Побудова плану с зоною розсіювання ЦЕН

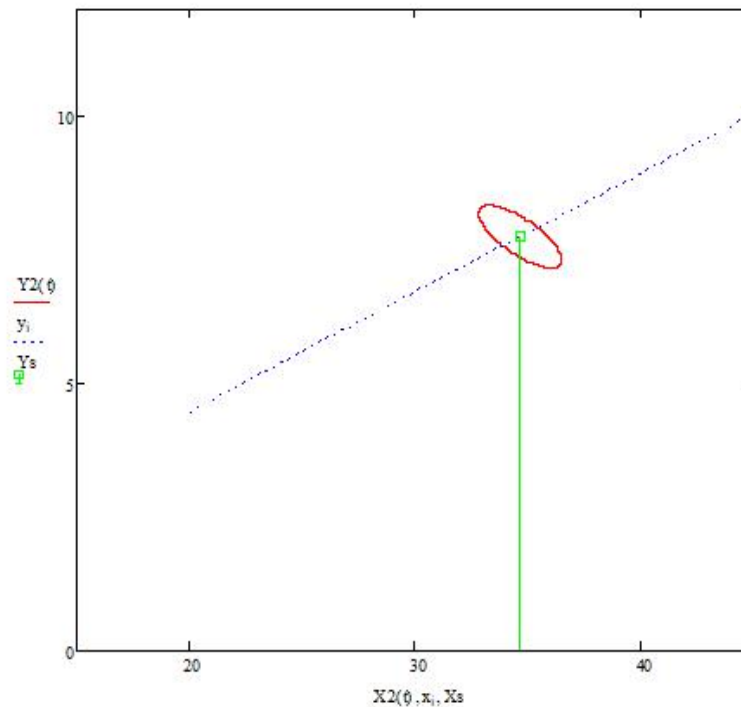
$$t := 0, 0.0001.. 2 \cdot \pi$$

$$x1(t) := R_x \cdot \cos(t)$$

$$y1(t) := R_y \cdot \sin(t)$$

$$X2(t) := x1(t) \cdot \cos(-a) + y1(t) \cdot \sin(-a) + X_s$$

$$Y2(t) := x1(t) \cdot \sin(-a) + y1(t) \cdot \cos(-a) + Y_s$$



За допомогою математичного САПР MathCad було визначено оптимальні координати ЦЕН  $X_0=29.445$ ,  $Y_0=7.38$ .

# Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою електронного процесора EXCEL

## Визначення оптимальних координат розміщення ЦЕН

$$\left. \begin{aligned} 3(x_0, y_0) &= \left[ (E_e + E_{аж}) \cdot (a_{жс} + K_0(F_{жс})) + 3 \cdot I_{жс}^2 \cdot r_0(F_{жс}) \cdot k_{жс} \cdot B_0 \right] \cdot \rho((x_0, y_0), (x_{жс}, y_{жс})) + \\ &\sum_{i=1}^n \left[ (E_e + E_a) \cdot (a + K_0(F_i) \cdot k_i) + 3 \cdot I_i^2 \cdot r_0(F_i) \cdot k_i \cdot B_0 \right] \cdot \rho((x_0, y_0), (x_{жс}, y_{жс})) \rightarrow \min_{x_0, y_0}; \\ \min_{i=1}^n(x_i) &\leq x_0 \leq \max_{i=1}^n(x_i); \\ \min_{i=1}^n(y_i) &\leq y_0 \leq \max_{i=1}^n(y_i). \end{aligned} \right\}$$

ЦЕН												
Ліній	X, м	Y, м	F, мг*2	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	Ro, Ом/км	Ko, т.грн/км	L, м	З, тис. грн	
живлення												
P1	20	4	50	1	40	18,72	63,74	0,620	83,0835	24	1,419	
P2	28	10	35	1	20	9,36	31,87	0,890	58,39425	37	0,972	
P3	35	6	35	1	50	23,40	79,68	0,890	58,39425	40	4,476	
P4	40	11	35	1	25	11,70	39,84	0,890	58,39425	50	1,772	
P5	49	9	90	1	60	28,08	95,62	0,443	113,62725	57	5,205	
P6	45	8	16	1	20	9,36	31,87	1,940	31,01175	52	2,153	
Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											15,9961	
Оптимальні координати ЦЕМ, м								Xo =	35	Yo =	8	
Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											15,9961	

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:  Выбрана

До:  Максимум  Минимум  Значения:

Изменяя ячейки переменных:  
X0;Y0

В соответствии с ограничениями:

X0 <= 50  
X0 >= 0  
Y0 <= 20  
Y0 >= 0

Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:  Параметры

Метод решения  
Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка

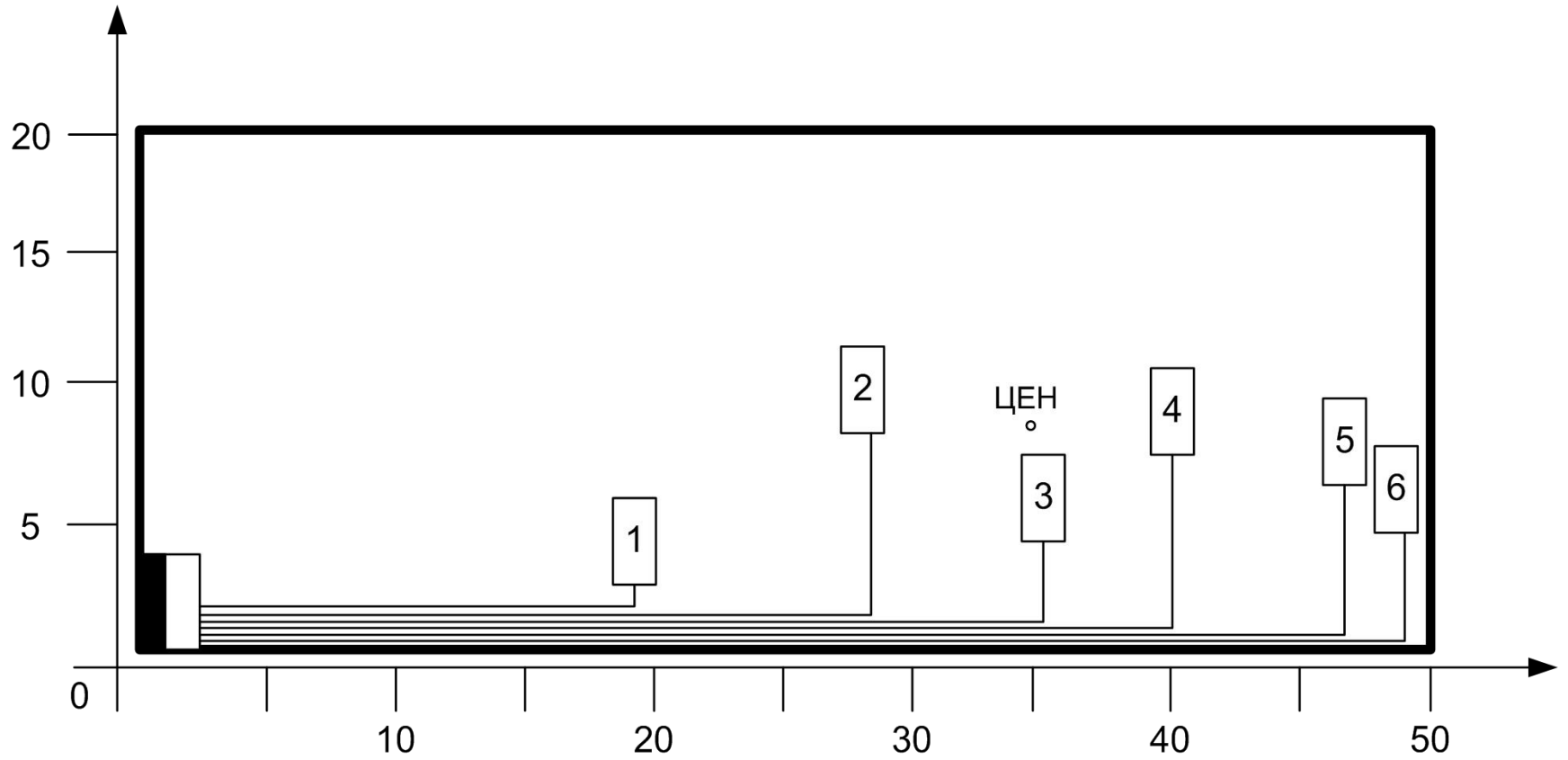


Рисунок 5 – План цеху з розташуванням ЦЕН

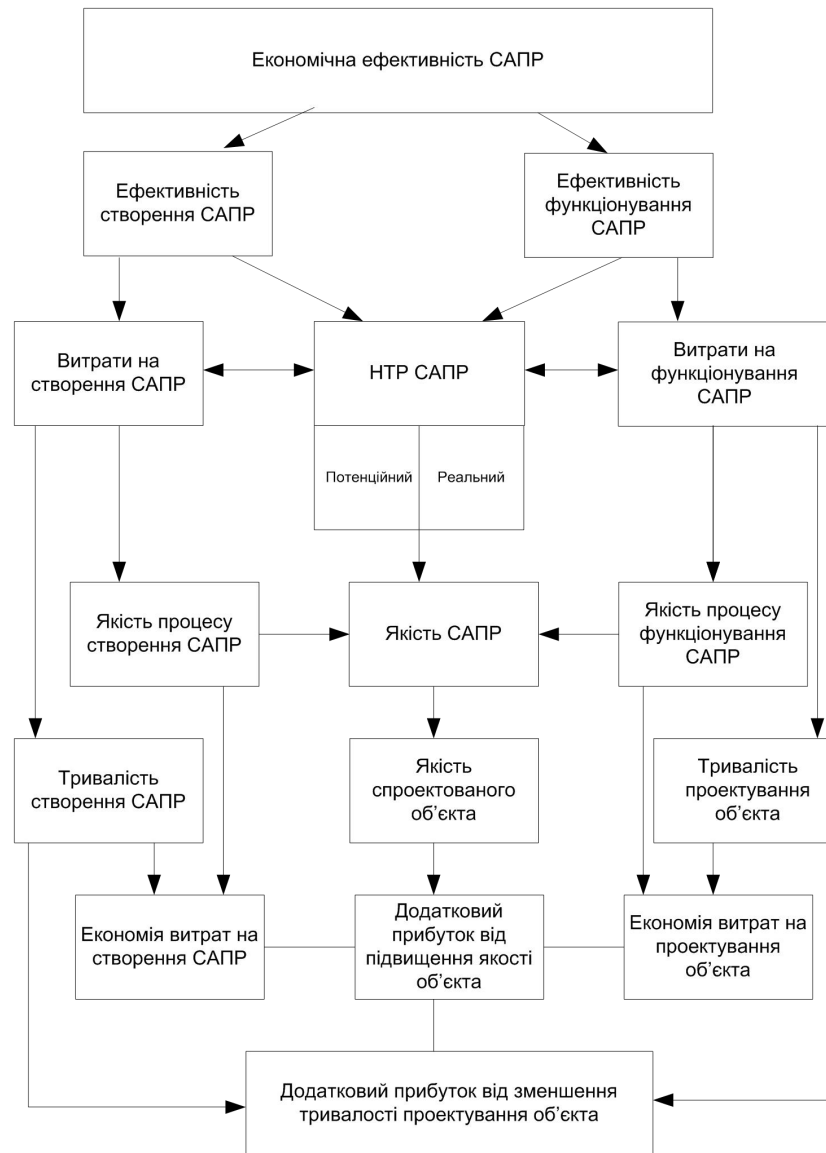


Рисунок 6 – Економічна ефективність створення і функціонування САПР

## Критерії оцінки економічної ефективності САПР та фактори її визначення

Критерії оцінки ефективності САПР	Складові економічної ефективності САПР	Фактори, що визначають економічну ефективність САПР
Якість проектування, в тому числі якість інженерних рішень і якість технічної документації	Економічний ефект від застосування нового виробу підвищеної якості. Економія за рахунок зниження, ліквідації браку технічної документації, зменшення витрат на її доопрацювання і дублювання.	Застосування КСАП відповідного НТР (можливості технічних і програмних засобів, достатність бази даних). Обґрунтована раціональна організація процесу техніко-економічного проектування в умовах САПР. Забезпечення необхідності і достатності документації, оперативності і точності її підготовки.
Терміни створення нової техніки, в тому числі терміни проектування і строки застосування нового виробу	Економічний ефект від скорочення циклу «дослідження - виробництво», збільшення терміну морального зносу нового виробу. Економія за рахунок скорочення потреби в оборотних коштах в результаті прискорення їх оборотності. Ефект пріоритетної новизни створення нового виробу, його конкурентоспроможності.	Організація використання можливостей скорочення термінів розробки при визначенні та виконанні процесу «дослідження - виробництво», зменшення обсягів «незавершеного виробництва» на всіх стадіях цього процесу Організація оптимального застосування нового виробу (підготовка споживачів, реклама) за прогноною кривою попиту
Витрати на проектування	Економія капітальних витрат на виконання досліджень і проектування за рахунок зниження капітальних витрат на одиницю ефекту і зменшення передвиробничих витрат. Економія поточних витрат в процесі проектування, зниження собівартості проектування.	Організація уніфікованих фахівців, що дозволяють методами математичного та імітаційного моделювання замінити дорогі натурні випробування, фізичне моделювання, спеціалізовані стенди та ін. Орієнтація в організації САПР на стратегію зниження цін на ЕОМ і програмні вироби. Організація економного витрачання всіх видів ресурсів в САПР при чіткому обліку, контролі та аналізі будь-яких операцій в умовах САПР.
Число розробників і характер їх праці	Економічний ефект від скорочення чисельності працівників, зайнятих на стадії дослідження і проектування. Ергономічні та соціальні складові економічного ефекту САПР. Ефект від соціально-економічних наслідків підвищення престижності інженерної праці за рахунок його автоматизації.	Організація підбору та розстановки кадрів відповідно до вимог і можливостей САПР, визначення нормативів чисельності співвідношень різних категорій працівників. Організація оплати та стимулювання праці працівників з урахуванням особливостей САПР. Організація цільової підготовки кадрів для роботи в умовах САПР, обслуговування та розвитку систем.

## Розрахунок економічної ефективності САПР СЕП

### Вартість комплектуючих та програмного забезпечення одного місяця САПР

№ п/п	Назва, тип	Ціна, грн	К-ть	Сума
1	Процесор	4000	1	4000
2	Материнська плата	1500	1	1500
3	Оперативна пам'ять	2400	1	2400
4	Відеокарта	6500	1	6500
5	Накопичувач	1700	1	1700
6	Корпус	800	1	800
7	Блок живлення	1500	1	1500
8	Монітор	2000	1	2000
9	Периферія	500	1	500
10	Пакет програм Microsoft office	1200	1	1200
11	Операційна система Windows	1250	1	1250
12	Пакет програм Mathcad	350	1	350
13	Пакет програм Autocad	7600	1	7600
				31300

### Середня вартість проектування

Вартість будівництва, тис.грн	до 250	до 1 000	до 15 000	до 20 000	до 30 000	до 40 000	більше 40 000
Середній відсотковий показник вартості проектування	4%	3,5%	2,5%	1,5%	1,25%	1,15%	1,1%
Середня вартість проектування, тис.грн	10	35	375	300	375	460	1100

### Середня вартість проектування використовуючи САПР

Вартість будівництва, тис.грн	до 250	до 1 000	до 15 000	до 20 000	до 30 000	до 40 000	більше 40 000
Середня вартість проектування, використовуючи системи САПР, тис.грн	6,66	23,31	249,75	199,8	249,75	306,6	732,6

### Економія витрат

Вартість будівництва, тис.грн	до 250	до 1 000	до 15 000	до 20 000	до 30 000	до 40 000	більше 40 000
Економія витрат, тис. грн	37,5	150	222,5	300	450	600	1650



## Висновок

В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено теоретичні та експериментальні дослідження підвищення енергоефективності системи електропостачання на основі технологій систем автоматизованого проектування.

Для досягнення поставленої мети розв'язані такі задачі:

- розглянуто основні поняття САПР, процес проектування СЕП та її автоматизацію;
- проведено аналіз математичного забезпечення САПР;
- розглянуто питання автоматизації прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою САПР MathCad та EXCEL;
- досліджено варіанти розрахунку економічної ефективності САПР;
- розглянуто питання охорони праці на підприємстві.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні теоретичних та методичних основ використання сучасних технологій САПР для проектування енергоефективних СЕП.

Практичне значення одержаних результатів: використання сучасних технологій САПР покращить процес прийняття рішень в питаннях проектування енергоефективних СЕП, забезпечить зниження витрат в об'єкт проектування та витрат на проектування. За рахунок використання САПР СЕП зменшиться вартість спорудження СЕП, підвищиться надійність і економічність передачі електричної енергії споживачам.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні теоретичні положення й найвагоміші практичні результати виконаного дослідження було обговорено на трьох науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області у 2016, 2017, 2018 роках. За результатами опубліковані тези доповідей [55], [56], [57].

**Дякую за увагу!!!**