ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНОЮ УСТАНОВКОЮ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ СОКОЛІВСЬКОЇ ТЕЦ

Виконав ст. гр. ТЕ-15мн Тіхоненко Р. О.

Науковий керівник: к. т. н., доц. Остапенко О. П.

- **Об'єкт дослідження** – енергоекономічна ефективність системи енергозабезпечення (СЕ) з когенераційно-теплонасосною установкою (КТНУ) великої потужності в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ.
- **Предмет дослідження** – процеси в елементах системи енергозабезпечення з КТНУ, що забезпечують підвищення енергоекономічної ефективності системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосною установкою великої потужності в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ.

- **Актуальність роботи.** В промисловому комплексі України частка споживання природного газу все ще залишається на високому рівні. Більше половини енергетичних проблем країни вирішується за рахунок спалювання природного газу. У світлі енергетичної кризи актуальним стає питання ефективного споживання енергоносіїв та впровадження новітніх енергозберігаючих технологій. Використання парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводом сприятиме економії природного газу та захисту навколишнього середовища за рахунок зниження теплового забруднення та кількості шкідливих викидів продуктів згорання.
- **Метою МКР** є підвищення енергоекономічної ефективності системи енергозабезпечення з КТНУ великої потужності, визначення енергоефективних режимів експлуатації системи енергозабезпечення з КТНУ великої потужності з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії, оцінка обсягів економії енергоресурсів від застосування системи енергозабезпечення з КТНУ великої потужності в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ.

- **Завдання МКР:**
  - визначення впливу джерел приводної енергії парокомпресійних теплових насосів з врахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТНУ на показники енергоефективності парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводом;
  - визначення енергетичних переваг парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводом з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокомпресійних теплових насосів та втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТН;
  - визначення енергетичних переваг СЕ з КТНУ та оцінка обсягів економії умовного палива від впровадження систем енергозабезпечення з КТНУ великої потужності;
  - проведення оптимізаційних енергоекономічних досліджень з метою визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів експлуатації системи енергозабезпечення з КТНУ великої потужності в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ;
  - розробка методичних рекомендацій з оцінки та підвищення енергоекономічної ефективності системи енергозабезпечення з КТНУ великої потужності в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ;
  - розробка рекомендацій з енергоефективних режимів експлуатації системи енергозабезпечення з КТНУ великої потужності в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ.

Наукова новизна:

- вперше досліджено, у зіставленні проаналізовано, а також визначено закономірності впливу джерел приводної енергії парокомпресійних теплових насосів різних рівнів потужності з врахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТН на значення економії умовного палива від застосування парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводом;
- вперше запропоновано метод визначення областей енергоефективної та енергоекономічної роботи СЕ з КТНУ великої потужності та ПДТ за показником енергоекономічної ефективності з врахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії;
- дістали подальший розвиток методи прогнозування умов ефективної інтеграції парокомпресійних ТНУ в промисловість та енергетику в частині визначення оптимальних енергоекономічних умов застосування КТНУ великої потужності з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокомпресійних ТНУ, пікових джерел теплоти та втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТНУ.

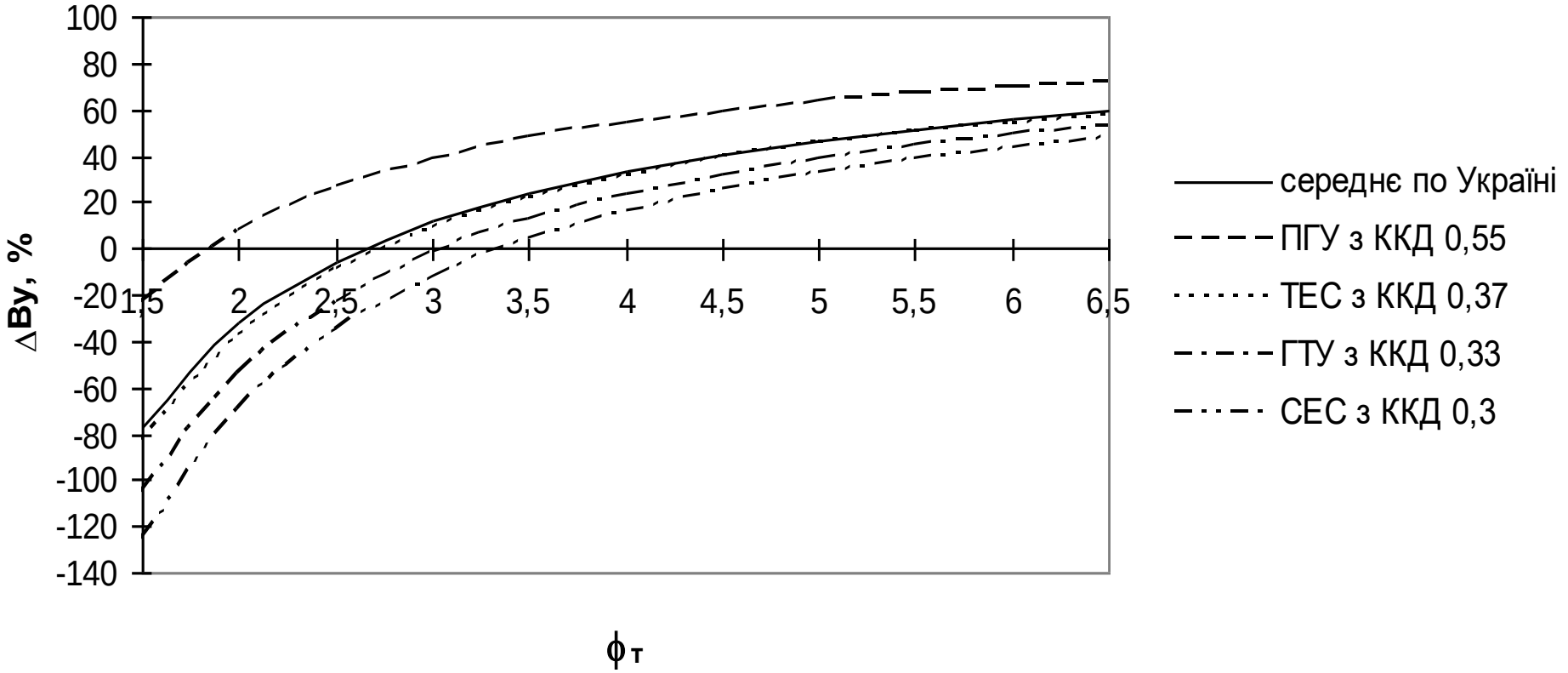
Економія умовного палива (у відсотках) від застосування ТНУ з електричним та когенераційним приводом

$$\Delta B_{у} = \left(1 - \frac{\eta^{н}_{д.т.}}{\varphi \cdot \eta_{ЕЛ}}\right) \cdot 100$$

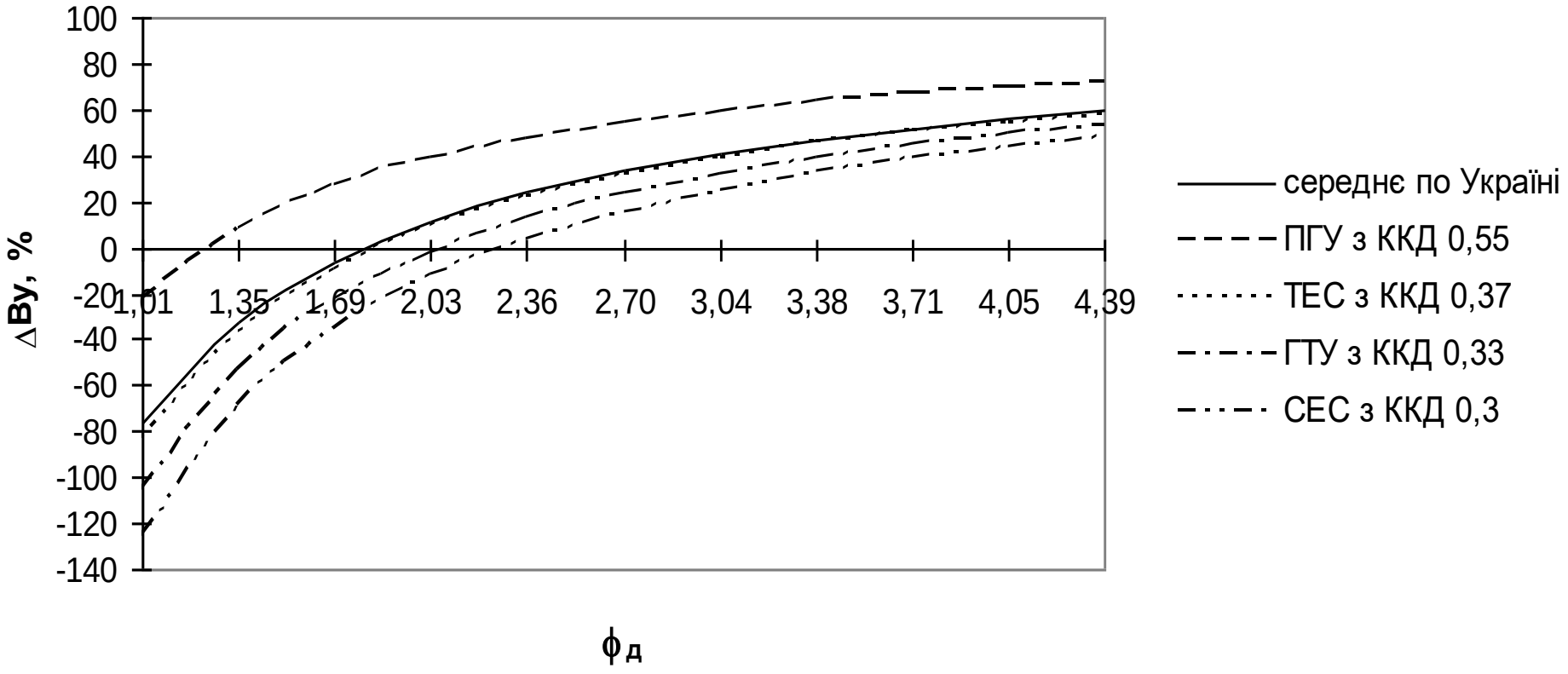
де $\eta^{н}_{д.т.}$ – ККД-нетто заміщуваного джерела теплоти,

$\eta_{ЕЛ}$ – загальний ККД генерування, постачання і перетворення електричної енергії.

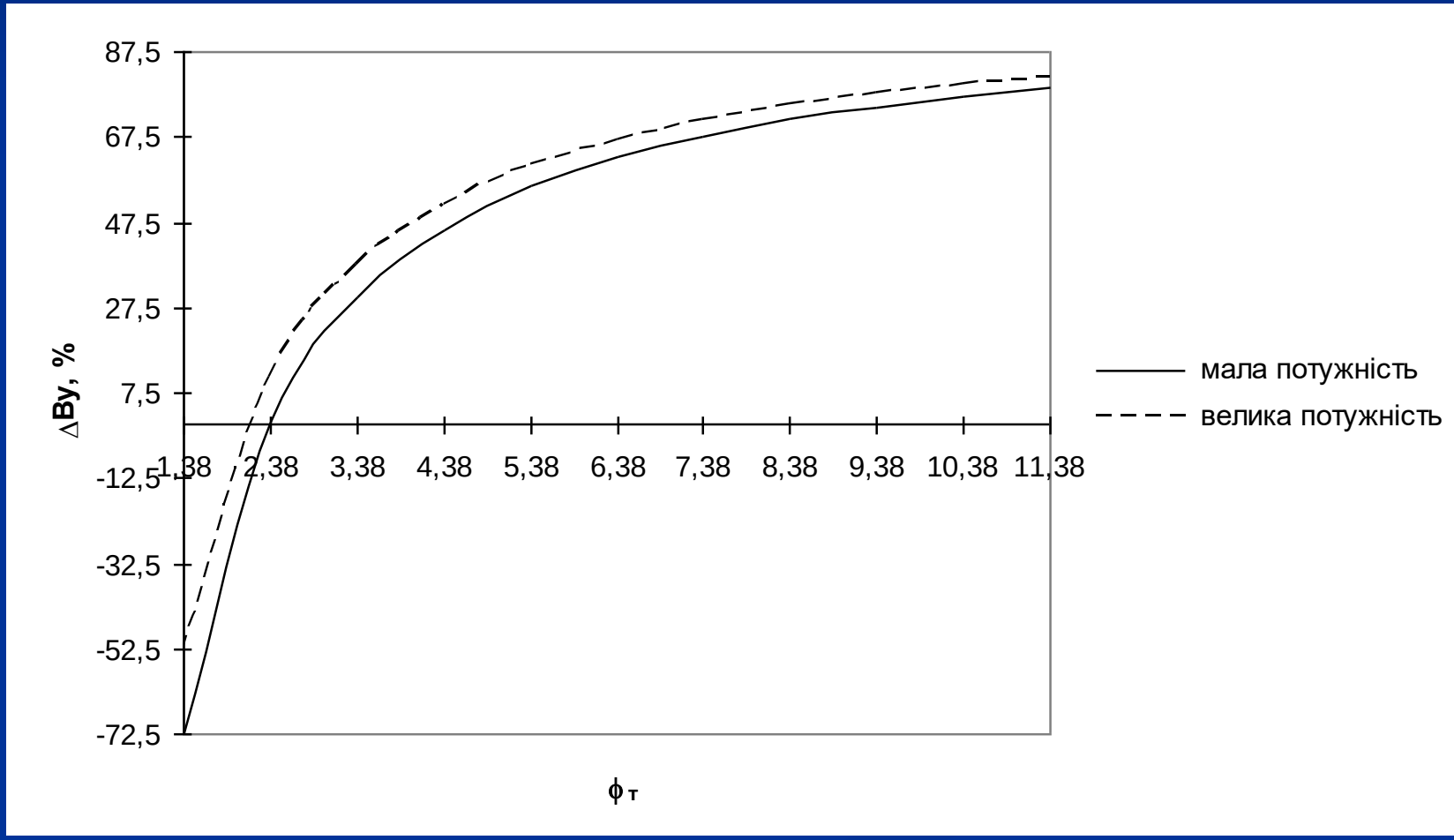
Значення економії умовного палива (у відсотках) від застосування КНТУ з електроприводом для теплових насосів великої потужності в залежності від теоретичних значень коефіцієнта перетворення



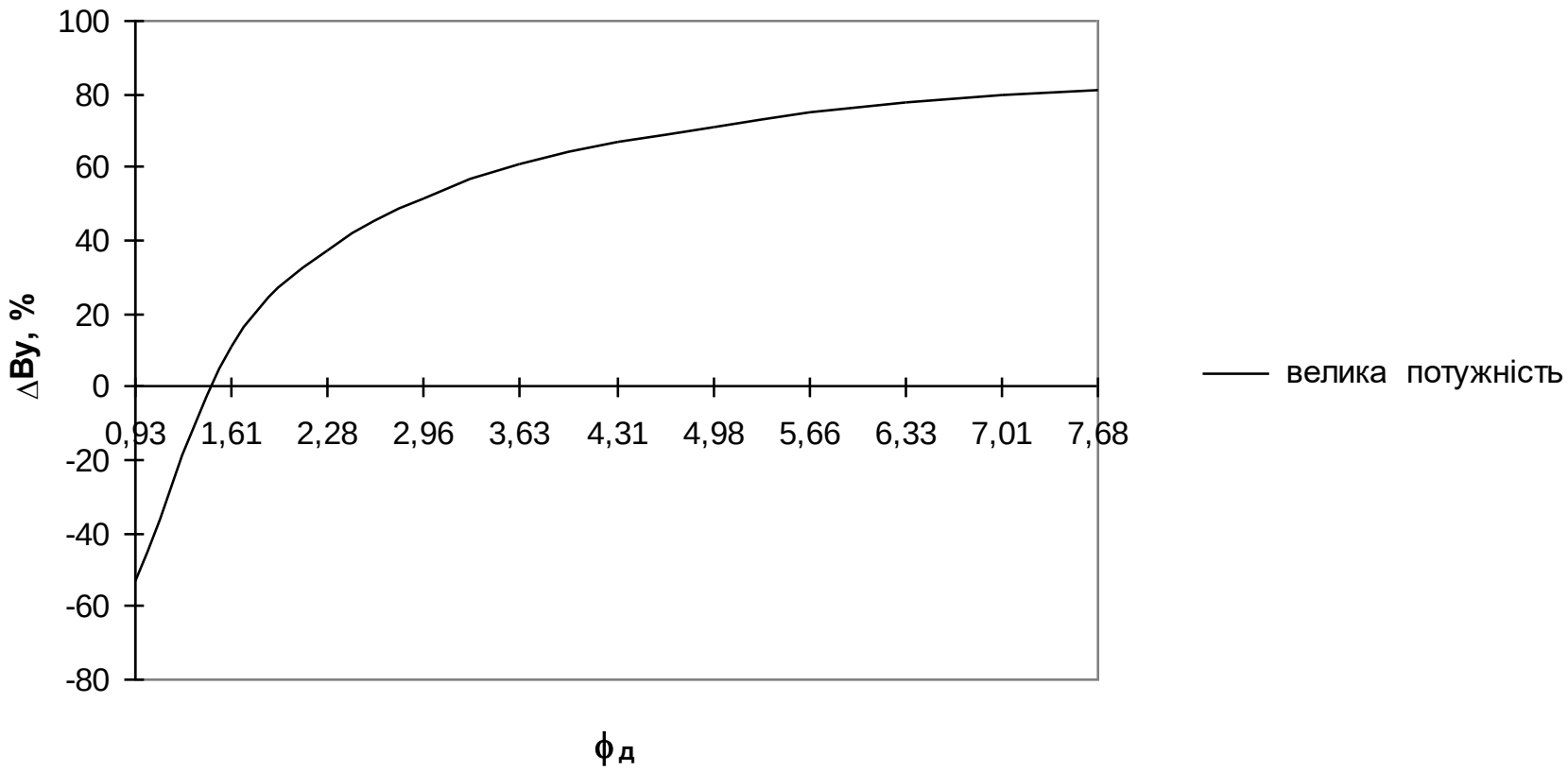
Значення економії умовного палива (у відсотках) від застосування СЕ з КНТУ з електроприводом для теплових насосів великої потужності в залежності від дійсних значень коефіцієнта перетворення



Значення економії умовного палива (у відсотках) від застосування СЕ з КТНУ з когенераційним приводом для теплових насосів малої та великої потужності в залежності від теоретичних значень коефіцієнта перетворення



Значення економії умовного палива (у відсотках) від застосування парокомпресійних ТН з когенераційним приводом для теплових насосів великої потужності в залежності від дійсних значень коефіцієнта перетворення



Показники енергетичної та енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ

- Коефіцієнт перетворення КТНУ

$$\varphi^{КТНУ} = (\varphi_т + К^{т}_{ГПД}) \cdot \eta_{тн}$$

- безрозмірний критерій енергетичної ефективності СЕ з КТНУ

$$К_{СЕ} = Q_{КТНУ} / Q_т = \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ЕП} \cdot \varphi^{КТНУ} \cdot \eta_{тп}$$

Показники енергетичної та енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ

- частка навантаження КТНУ у складі СЕ

$$\beta = Q_{КТНУ} / Q_{СЕ}$$

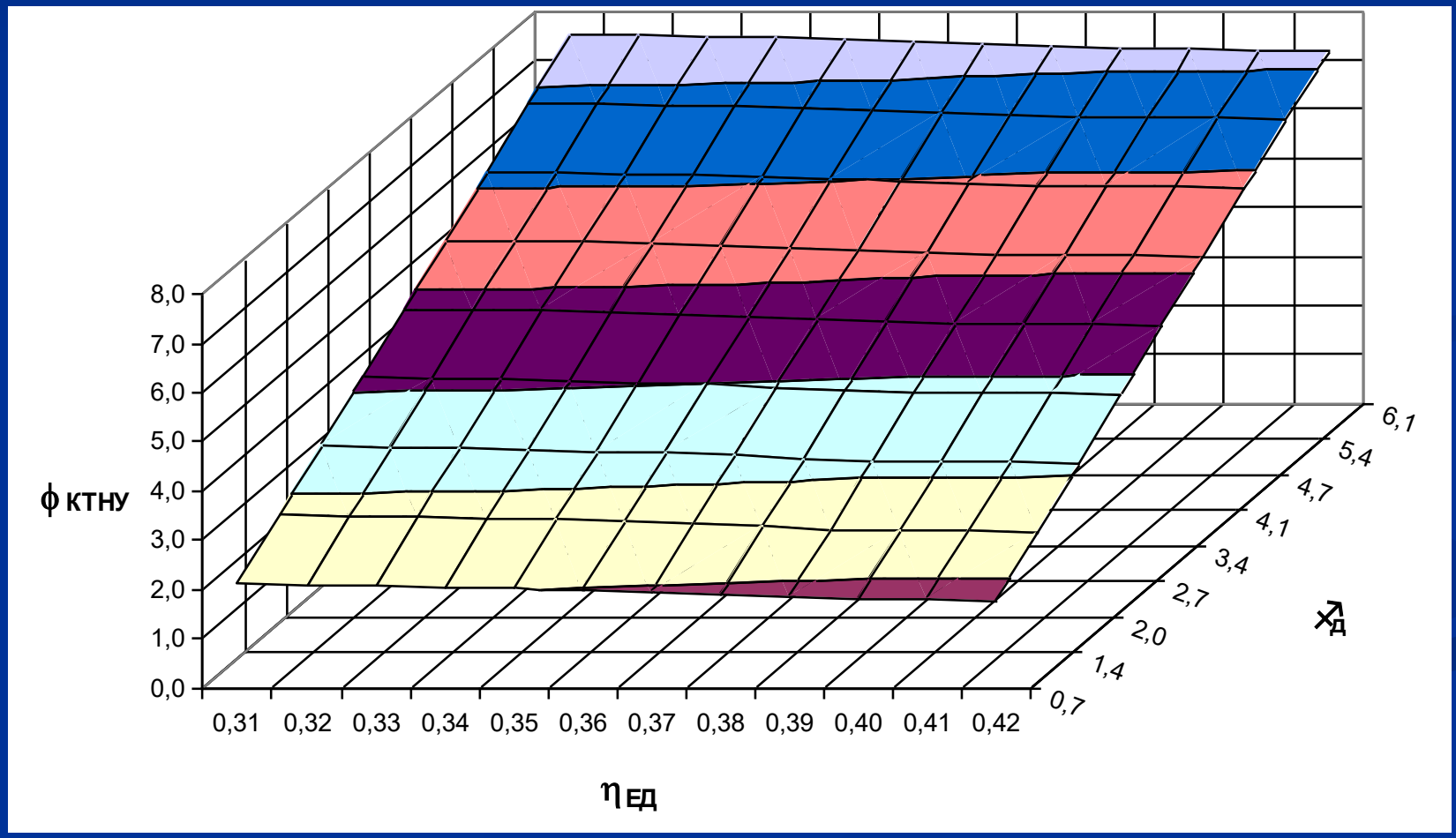
- безрозмірний критерій енергетичної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ

$$К_{СЕ1} = (1-\beta) \cdot К_{ПДТ} + \beta \cdot К_{КТНУ}$$

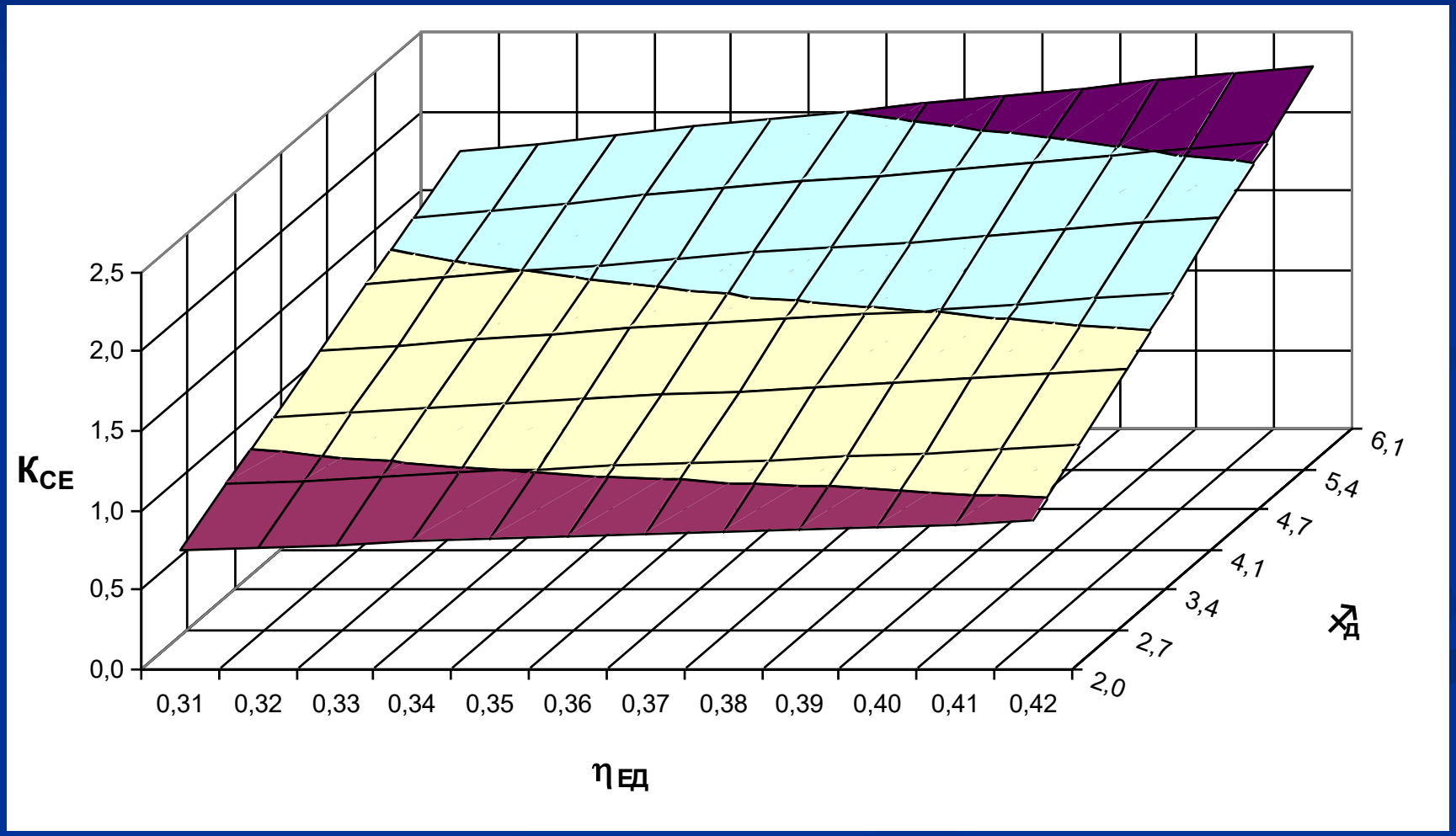
- комплексний узагальнений безрозмірний критерій енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ

$$К_{СЕ} = К_{СЕ1} + \Delta E_i = (1-\beta) \cdot К_{ПДТ} + \beta \cdot К_{КТНУ} + \Delta E_i$$

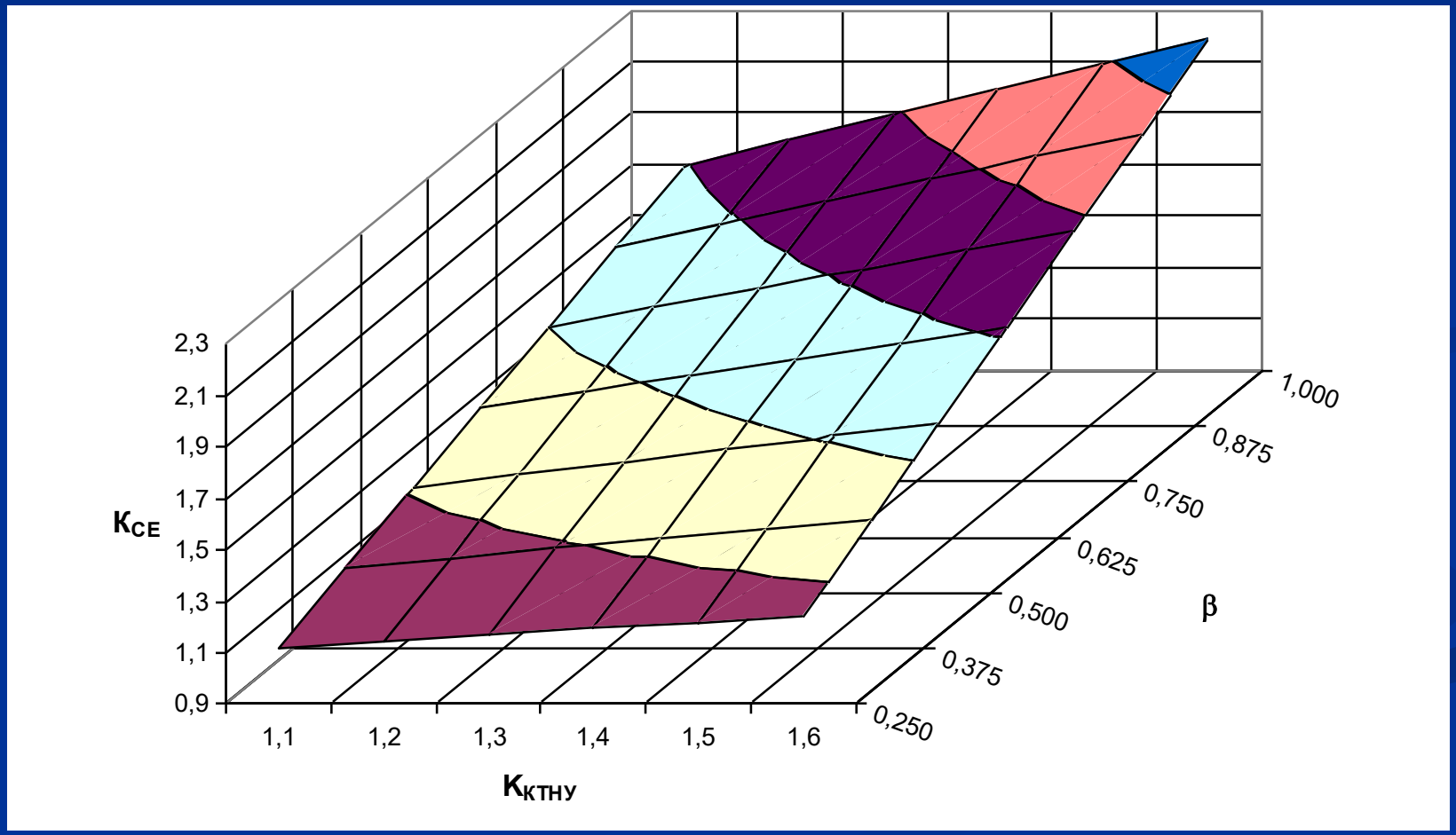
Значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ великих потужностей в залежності від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД



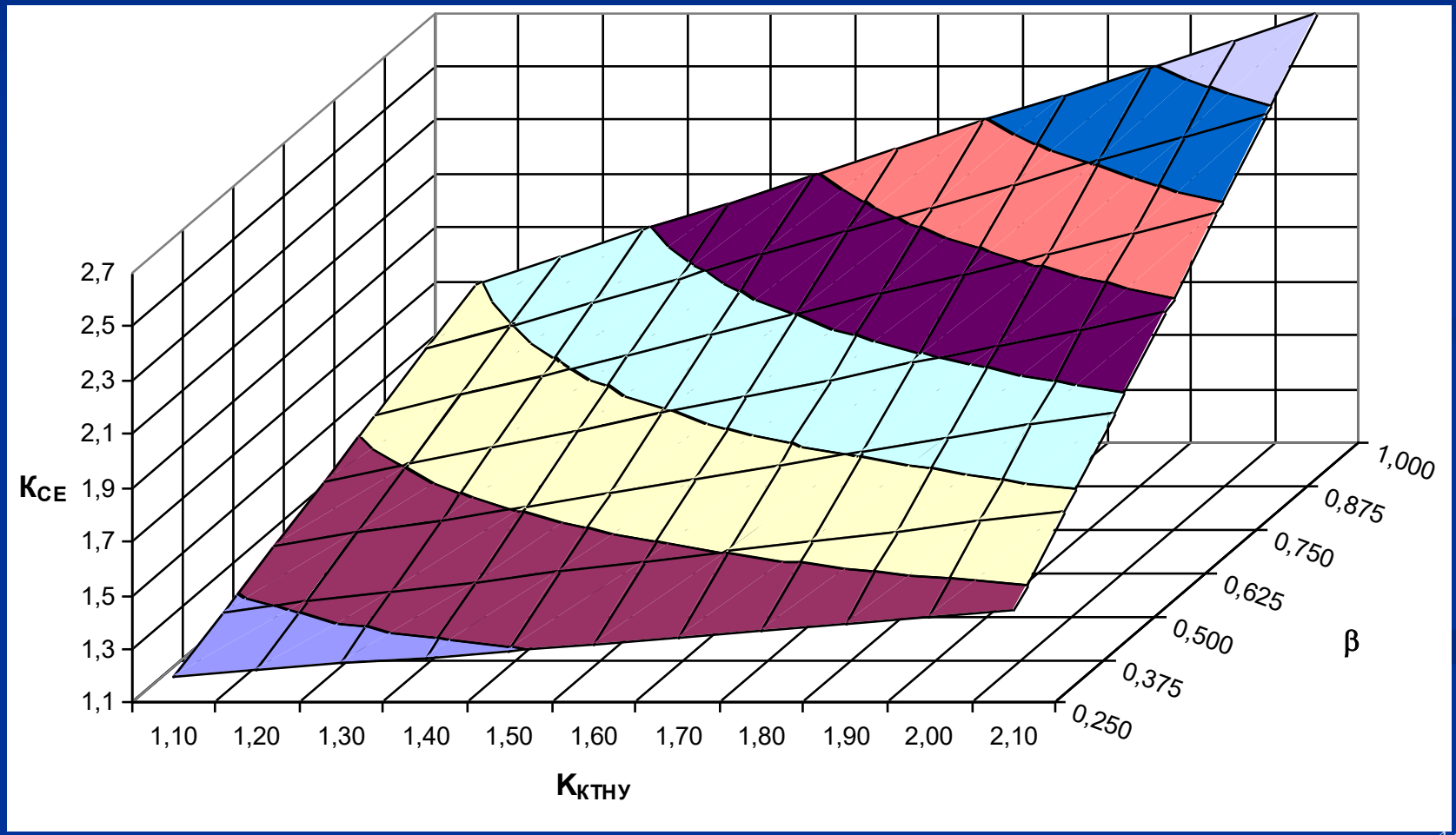
Значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ великих потужностей в залежності від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД



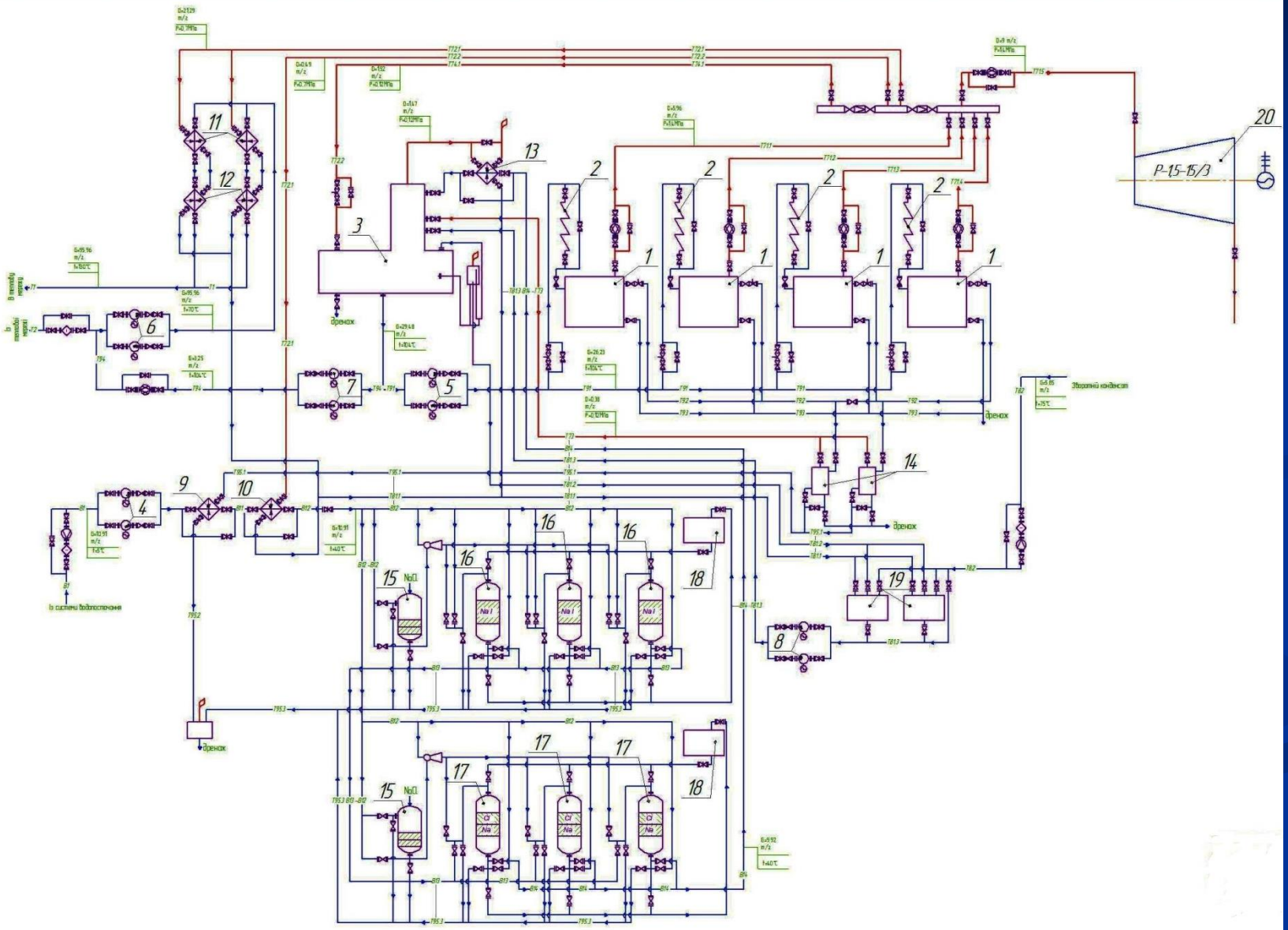
Область енергоефективної роботи СЕ з КТНУ великої потужності, визначена за показником енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ, за умов мінімальної ефективності ГПД та пікового паливного котла



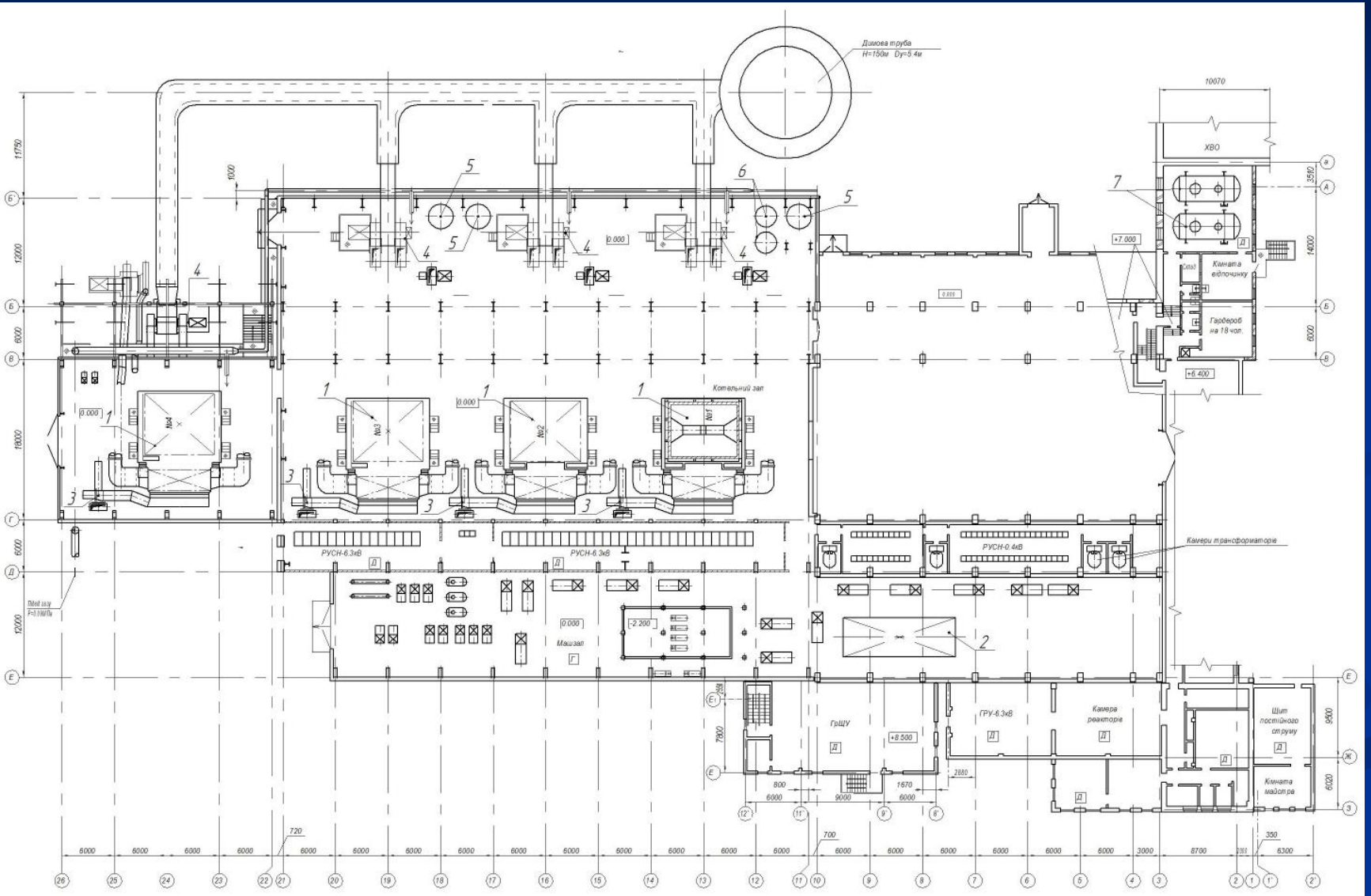
Область енергоефективної роботи СЕ з КТНУ великої потужності, визначена за показником енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ, за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла



Теплова схема Соколівської ТЕЦ



План Соколівської ТЕЦ

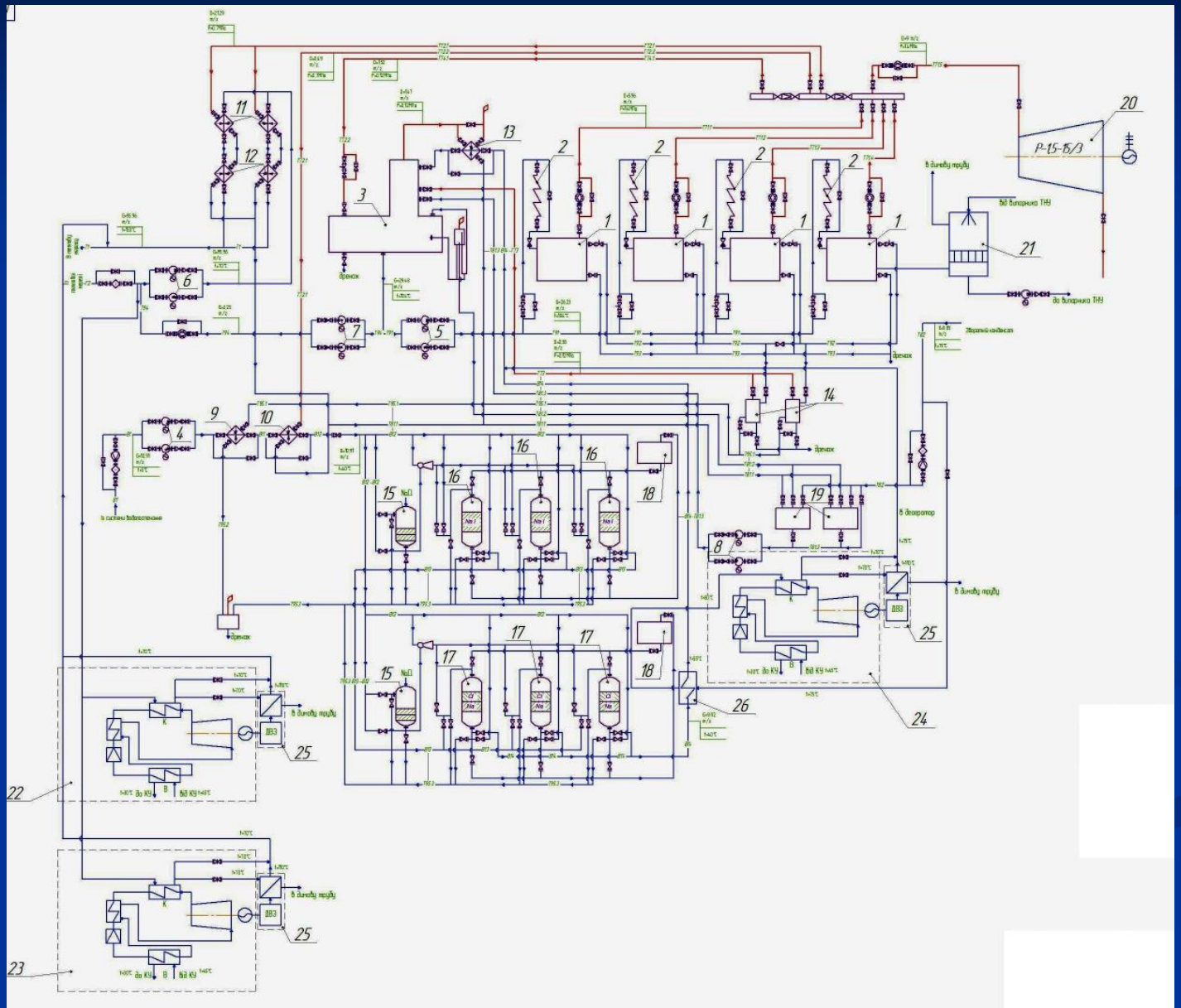


Ефективність варіантів застосування СЕ з КНТУ в тепловій схемі ТЕЦ

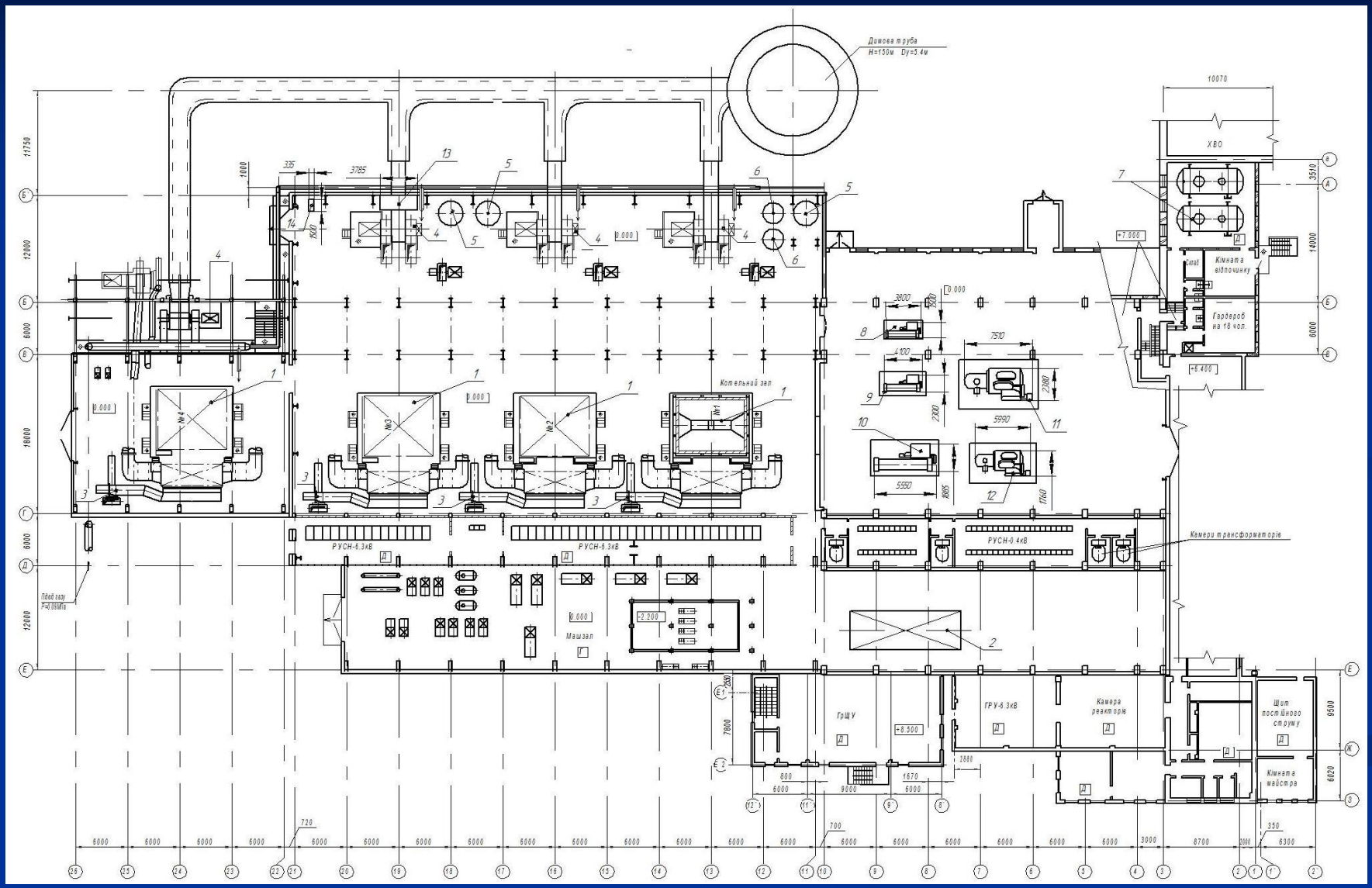
Показник	Одиниці вимірювання	Варіант застосування			
		1	2	3	4
Річна економія робочого палива	%	4,89	2,88	2,92	1,97
Економія робочого палива	тис.м^3/рік	1570,9	925,2	938,1	632,9
Кількість зекономлених коштів	млн. грн./рік	1,131	0,666	0,675	0,456

- 1– застосування СЕ з КНТУ для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання;
- 2 – застосування СЕ з КНТУ для забезпечення гарячого водопостачання для двох сезонів;
- 3 – застосування СЕ з КНТУ для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання для другого сезону;
- 4 – застосування СЕ з КНТУ для забезпечення гарячого водопостачання для першого сезону.

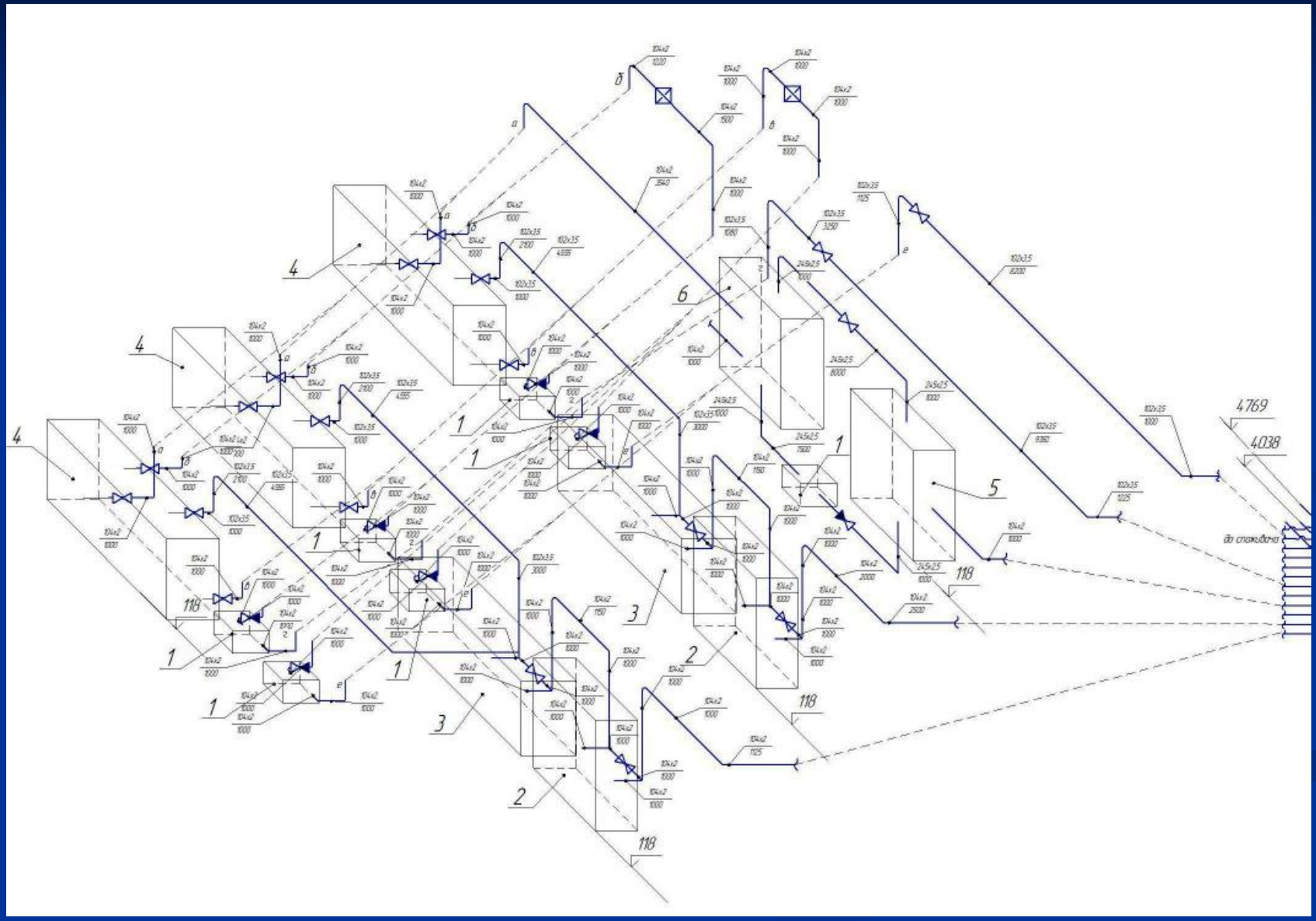
Теплова схема Соколівської ТЕЦ з СЕ КТНУ



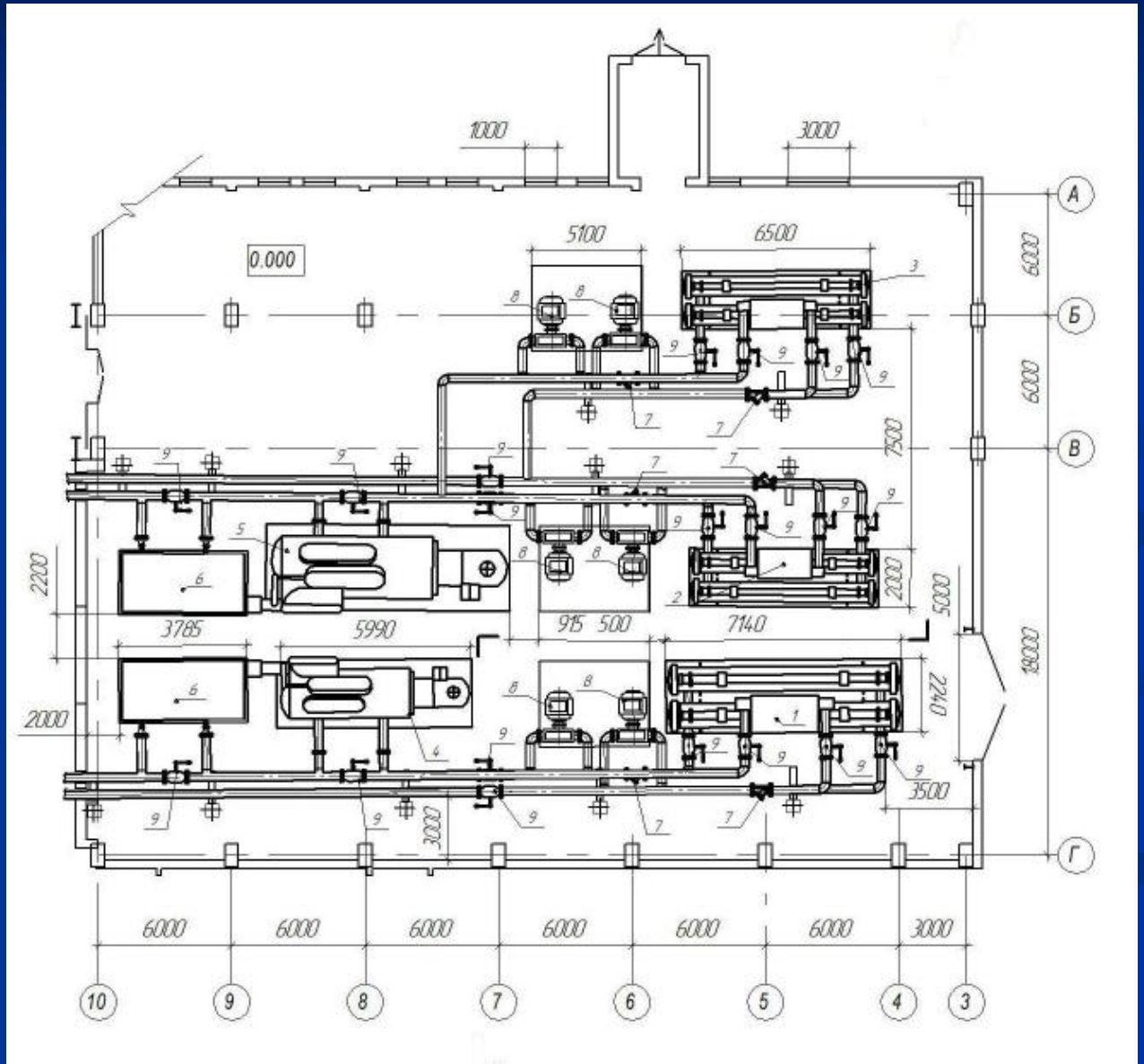
План Соколівської ТЕЦ з СЕ КТНУ



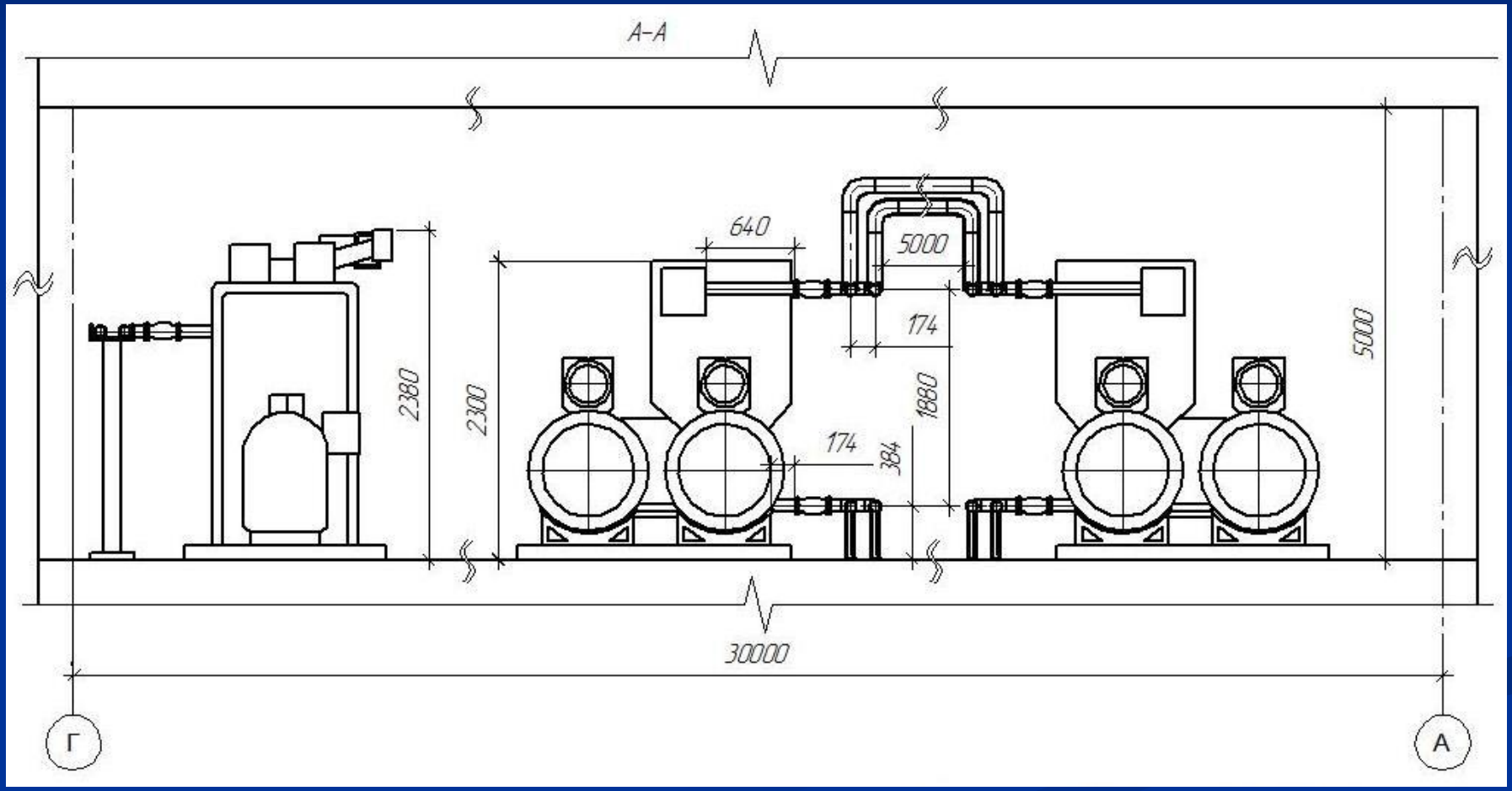
Монтажна схема КТНУ



План розташування обладнання та трубопроводів КТНУ



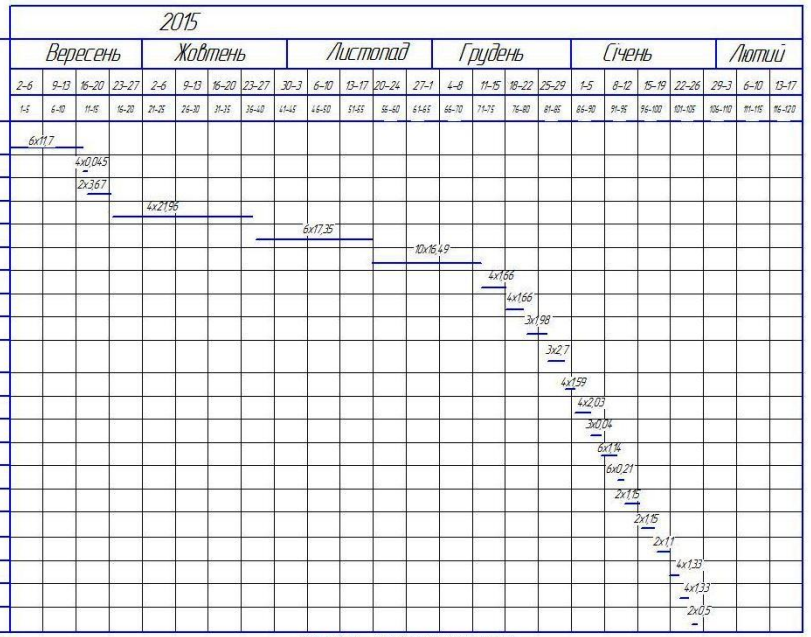
План розташування обладнання та трубопроводів КТНУ (Розріз А-А)



Календарний план монтажу КТНУ

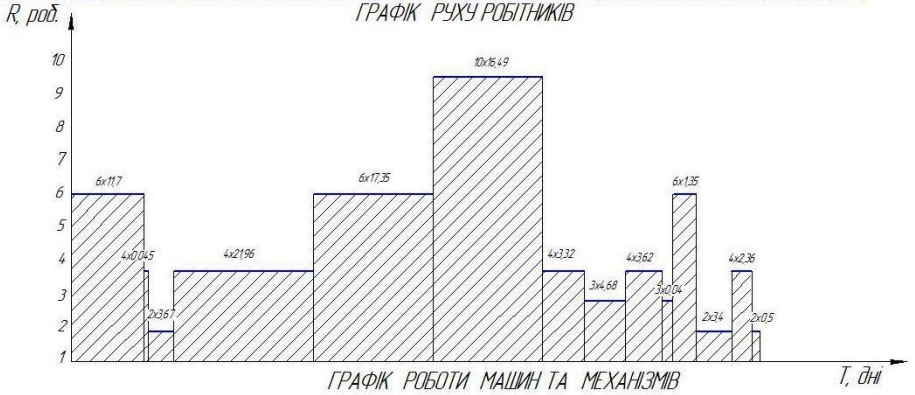
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

№ п/п	Найменування робіт	Одн. вим.	Обсяг	Норма часу люд/год	Трудомісткість	Склад бригади	К-сть чоловік	Тривалість
1	Доставлення деталей до місць монтажу	т	124,8	3	46,8	4 робітник, 2 водій	6	11,7
2	Розмітка місць прокладання трубопроводу	100 м	1,1	1,3	0,18	Монтажник 5 розряд – 2, 3 розряд – 2	4	0,045
3	Транспортування допоміжного обладнання	т	19,583	3	7,34	Робітник 4р. – 1, Зр. – 1	2	3,67
4	Монтаж теплового насосу НТ-500	шт	1	702,8	87,85	Монтажник 3р-2, 7р-2	4	21,96
5	Монтаж теплового насосу НТ-1000	шт	1	833	104,13	Монтажник 3р-2, 4р-2, 7р-2	6	17,35
6	Монтаж теплового насосу НТ-3000	шт	1	1319,5	164,94	Монтажники 3р-4, 4р-4, 7р-2	10	16,49
7	Монтаж двигуна-генератора 1ГГ0100А	шт	1	53,2	6,65	Монтажник 3р-2, 7р-2	4	1,66
8	Монтаж двигуна-генератора ГДГ1А500	шт	1	53,2	6,65	Монтажник 3р-2, 7р-2	4	1,66
9	Монтаж КТАН-утилізатора	шт	1	4,76	5,95	Монтажники 3р-1, 4р-1, 5р-1	3	1,98
10	Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 15 мм	м	0,45	113,16	6,36	газзв. 6р-1, 5р-1, сл-сантехн 4р-1	3	2,12
11	Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 100 мм	м	0,45	113,16	6,36	газзв. 6р-1, 5р-1, сл-сантехн 4р-2	4	1,59
12	Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 240 мм	м	0,2	324,72	8,12	газзв. 6р-1, 5р-1, сл-сантехн 4р-2	4	2,03
13	Встановлення затвора і арматури	100 шт	0,18	24,1	0,13	Монтажники 5р-1, 4р-1, 3р-1	3	0,04
14	Встановлення фільтра фланцевого	шт	6	9,13	6,85	Слюсар-сантехн 3р, 7р	6	1,14
15	Випробування трубопроводів	100 м	1,1	8,22	1,233	Монтажники 5р-2, 4р-2, 3р-2	6	0,21
16	Ізоляція трубопроводів діаметром 95 мм	10 м	4,5	5,57	3,13	Слюсар 4,2 розряд	2	1,5
17	Ізоляція трубопроводів діаметром 100 мм	10 м	4,5	5,57	3,13	Слюсар 4,2 розряд	2	1,5
18	Ізоляція трубопроводів діаметром 240 мм	10 м	2	8,54	2,14	Слюсар 4,2 розряд	2	1,1
19	Монтаж циркуляційного насоса 4КМ-12	шт	2	21,3	5,32	Монтажники 3р-2, 4р-2	4	1,33
20	Монтаж циркуляційного насосу 4К-90-20	шт	2	21,3	5,32	Монтажники 3р-2, 4р-2	4	1,33
21	Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	1,1	2,4	0,35	Слюсар-сантехн 3р-1, 5р-1	2	0,5

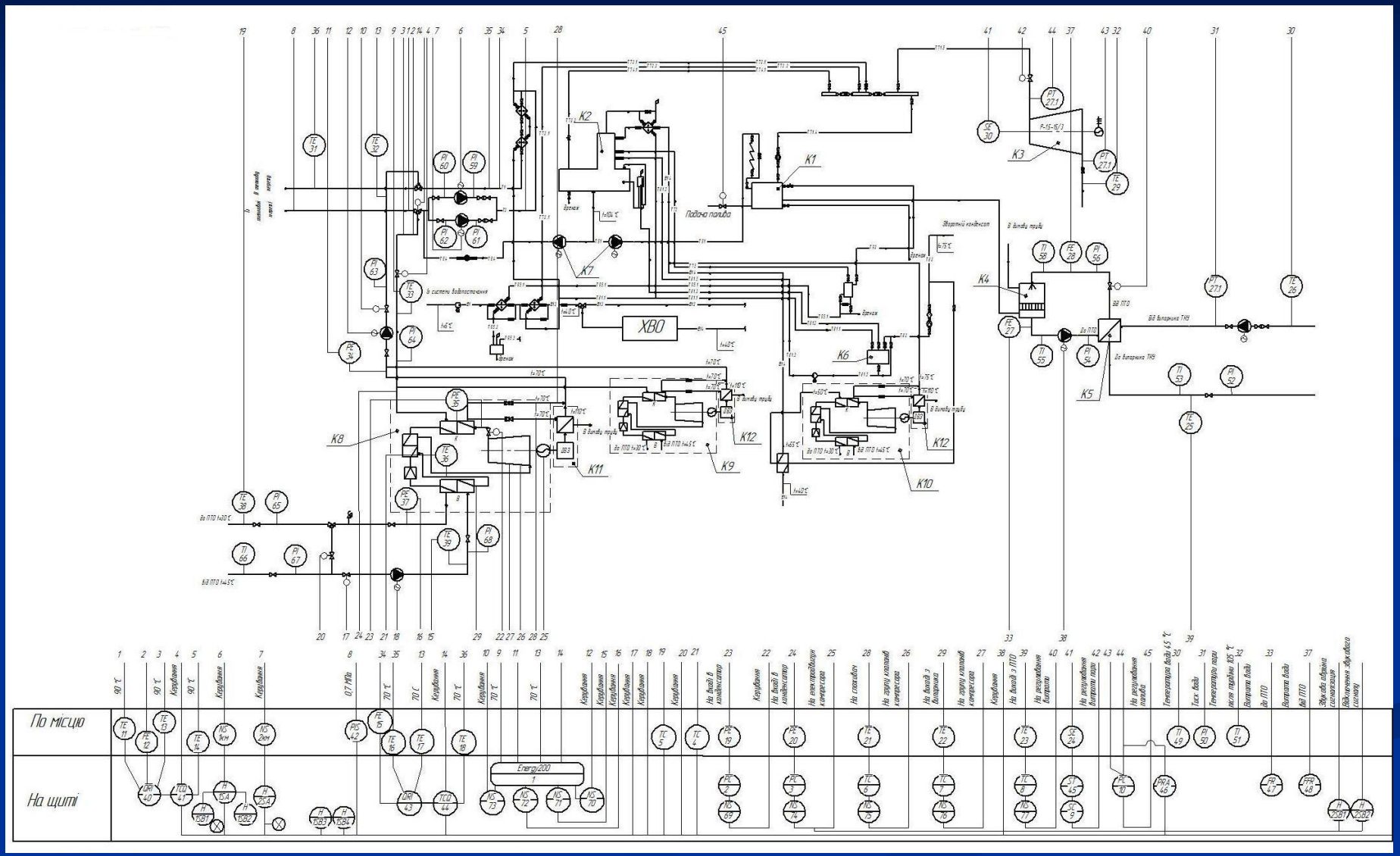


ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Од.виміру
1	$Q_{заг.}$	Q_i	470,83	люд/дні
2	$T_{заг.}$	–	90,53	дні
3	$R_{max.}$	–	10	люд
4	$R_{сер.}$	$Q_{заг.}/T_{заг.}$	5	люд
5	$T_{вст.}$	–	7,6	дні
6	$\pm_1$	$R_{сер}/R_{max}$	0,5	–
7	$\pm_2$	$T_{вст.}/T_{заг.}$	0,08	–



Функціональна схема автоматизації КНТУ



План електропостачання Соколівської ТЕЦ

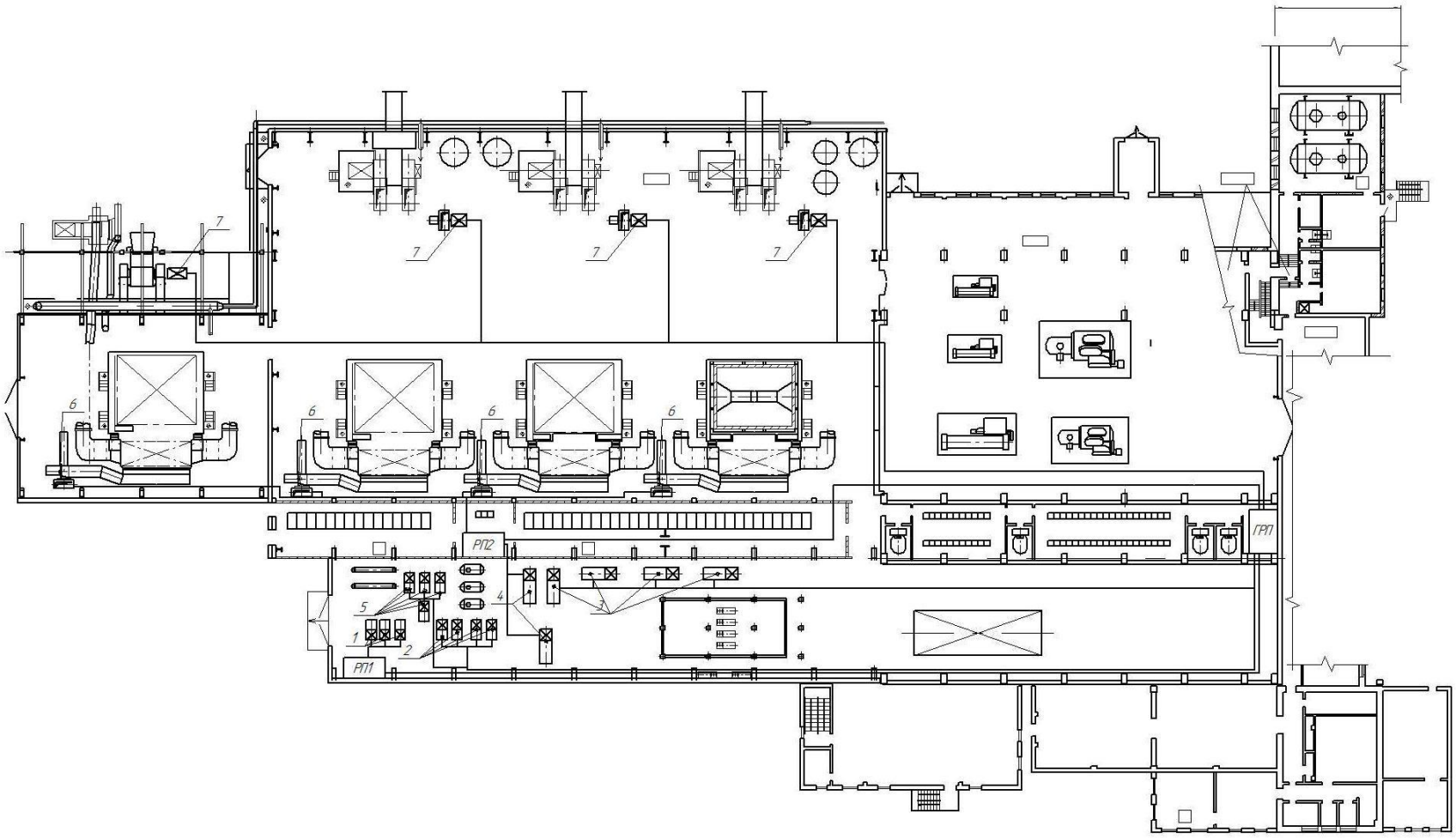
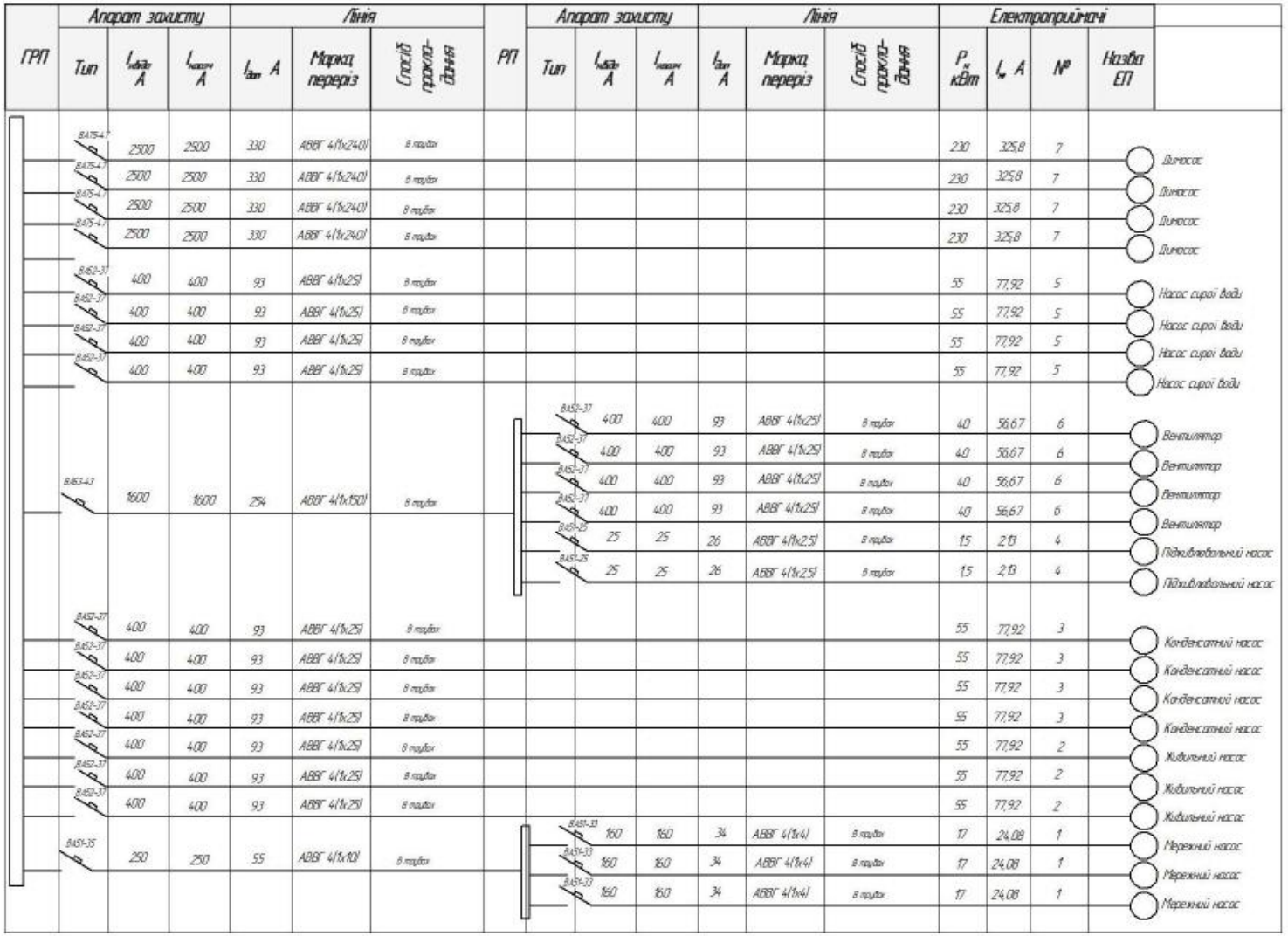


Схема електропостачання Соколівської ТЕЦ



ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СОКОЛІВСЬКОЇ ТЕЦ

Показник	Одиниця вимірювання	Варіант схеми	
		Існуюча схема	Модернізована схема з КТНУ
Витрата робочого палива	тис. $м^3$/рік	32125,24	29591,7
Економія робочого палива	%	----	7,28
Витрати на паливо	млн. грн./рік	262,8	242,1
Експлуатаційні витрати	млн. грн./рік	287,3	268,8
Зменшення експлуатаційних витрат	млн. грн./рік	----	18,5
Капіталовкладення в нове обладнання	млн. грн.	----	31,1
Термін окупності нового обладнання	років	----	1,68

Висновки

- В магістерській кваліфікаційній роботі оцінено енергоекономічну ефективність системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосною установкою в тепловій схемі Соколівської ТЕЦ.
- Запропоновано підхід із оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок великої потужності з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних ТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.
- Розроблено методичні основи та здійснено оцінку енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок великої потужності, визначенні ефективні режими роботи систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних ТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.
- На основі аналізу результатів досліджень визначено, що використання СЕ на основі КТНУ великих потужностей має переваги порівняно з використанням СЕ на основі КТНУ малих потужностей, що підтверджується більшими значеннями безрозмірного критерію енергетичної ефективності СЕ на основі КТНУ для різних режимів роботи. Визначено, що для СЕ на основі КТНУ великих потужностей фіксуються більші значення показників енергетичної ефективності для всіх досліджених режимів роботи.
- Розроблено методичні основи та визначено області енергоефективної та енергоекономічної роботи СЕ з КТНУ великої потужності та ПДТ, за умов оптимальних режимів роботи КТНУ; визначені енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних ТНУ великої потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

- Запропонований підхід із визначення областей енергоефективної та енергоекономічної роботи СЕ з КТНУ великої потужності та ПДТ за показником енергоекономічної ефективності має низку переваг:
- враховує змінні режими роботи СЕ зі зміною розподілу навантаження між парокомпресійними КТНУ та піковим джерелом теплоти в СЕ;
- дозволяє оцінювати комплексний вплив змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти СЕ, джерел приводної енергії парокомпресійних КТНУ з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії;
- враховує вплив джерел приводної енергії парокомпресійних КТНУ різних рівнів потужності з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та СЕ;
- враховує вплив пікових джерел теплоти для СЕ та виду споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії при генеруванні та постачанні енергії до пікових джерел теплоти;
- в результаті комплексного підходу до оцінювання енергоефективності СЕ можна здійснити вибір найбільш ефективного ПДТ для певного виду СЕ;
- запропоновані методичні основи та приведені результати досліджень можуть бути використані для визначення областей енергоефективної роботи СЕ на основі парокомпресійних КТНУ великої потужності з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями;
- дозволяє визначити області та режими енергоефективної роботи СЕ з КТНУ великої потужності та ПДТ, за яких енергоефективність досліджуваних СЕ майже в два рази перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних та паливних котлів;
- дозволяє комплексно оцінювати енергоефективність значної кількості варіантів СЕ з КТНУ великої потужності та ПДТ;
- дозволяє розробити рекомендації з енергоефективної експлуатації СЕ з КТНУ великих потужності та ПДТ з різними схемними рішеннями за показником енергоекономічної ефективності.

- Визначено, що:
- за умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{СЕ} > \eta_{ПК}$ та режимів енергоефективної роботи КТНУ, в дослідженні визначено області енергоефективної роботи та енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ великої потужності та піковими паливними котлами для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ;
- запропоновані в дослідженні СЕ з КТНУ та пікових паливними котлами будуть енергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0{,}25$. У разі виконання цієї умови сучасні високоефективні електричні та паливні котли будуть поступатися за енергоефективністю вказаним СЕ. За цих умов зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність більш, ніж в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів.
- Практичні рекомендації по застосуванню СЕ з КТНУ містять оцінку ефективності СЕ з КТНУ, розробку технології монтажу і автоматизації СЕ з КТНУ. Система автоматизації регулює такі параметри: температуру води на виході з конденсатора та температуру води на виході з випарника.
- Підібрано три теплових насоса виробництва ЗАТ «Енергія»: марки НТ-3000 з розрахунковою теплопродуктивністю 1800…2800 кВт, марки НТ-1000 з розрахунковою теплопродуктивністю 900…1350 кВт та марки НТ-500 з розрахунковою теплопродуктивністю 450…680 кВт. Для приводу теплових насосів вибрані два газопоршневих двигуна-генератора марки 17 ГД100А з номінальною потужністю електрогенератора 1600 кВт виробництва ВО «Завод ім. Малишева» (Україна) та марки ГДГ1А500 з номінальною потужністю електрогенератора 500 кВт виробництва ВО «Первомайскдизельмаш» (Україна). ТНУ використовує низькотемпературну теплоту від утилізатора теплоти відхідних газів.