

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ
«ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ТЕПЛОБМІННИКІВ
ЗАСОБАМИ ПІНЧ-АНАЛІЗУ» ЗА КУРСОМ «ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЯ
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ»

для студентів хімічних спеціальностей усіх форм навчання

ЗАТВЕРДЖЕНО
редакційно-видавничою
радою університету
протокол №3 від 22.12.2016 року

Харків
НТУ «ХПІ»
2017

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання «Оптимальне проектування мереж теплообмінників засобами пінч-аналізу» за курсом «Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів» для студентів хімічних спеціальностей всіх форм навчання / уклад. Т.Г. Бабак, І.Б. Рябова – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – 28 с.

Укладачі: Т.Г. Бабак
І.Б. Рябова

Рецензент К.О. Горбунов

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів

ВСТУП

На відміну від орієнтації на великомасштабні нарощування енергетичних ресурсів, вищими пріоритетами енергетичної стратегії України сьогодні є ефективне енергоспоживання і енергозбереження.

Проектування теплових систем, що забезпечують мінімальне споживання енергії від зовнішніх енергоносіїв, є однією з найбільш складних технічних проблем, з якою доводиться стикатися як при первинному проектуванні, так і при реконструкції теплових систем промислових установок.

Методи, що дозволяють забезпечити вже на ранній стадії проектування оптимальне розв'язання задач проектування теплообмінних систем, були запропоновані проф. Б. Ліннхоффом. Подальший розвиток методи отримали в роботах проф. Б. Ліннхоффа і проф. Р. Сміта із співробітниками (Манчестерський університет інституту науки і технології, UMIST, Великобританія). В їх основі лежать принципи пінч-аналізу хіміко-технологічних систем.

Сьогодні пінч-технології активно використовуються вченими та співробітниками кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів НТУ «ХП» в науковій, навчальній роботі, при підготовці студентів і аспірантів, а також при виконанні науково-технічних проєктів, а також міжнародних.

Ці методичні вказівки призначені для самостійної роботи студентів щодо використання пінч-технологій при проектуванні теплообмінних систем ХТС.

МЕТА РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ

Засвоєння засобів знайдення точки пінча, отримання сіткової діаграми для заданого значення ΔT_{\min} та розміщення мережі теплообмінників, що забезпечить максимальну рекуперацію енергії у цій хіміко-технологічній системі.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ

1. Ознайомитися з поданням теплових потоків процесу у вигляді складових кривих.
2. Засвоїти засоби отримання положення точки пінча та мінімально можливої потужності зовнішніх теплоносіїв $Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$ за допомогою складових кривих та табличного алгоритму для заданого значення ΔT_{\min} .
3. Отримати сіткову діаграму та побудувати мережу теплообмінників з максимальною рекуперацією теплової енергії потоків.

РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ НАЯВНОСТІ ДВОХ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ

Тепловий потік характеризують його початкова (температура постачання) T_s , °C, і кінцева (цільова) T_t температура, °C, масова витрата G теплоносія, кг/с, питома теплоємність c_p , кДж / (кг · °C).

Можна обчислити потокову теплоємність (водяний еквівалент) CP , кВт / °C:

$$CP = G \cdot c_p \quad (1)$$

та зміну ентальпії потоку в його температурному інтервалі:

$$\Delta H = \int_{T_s}^{T_t} CP \cdot dT, \quad (2)$$

якщо $CP = \text{const}$, тоді

$$\Delta H = CP \cdot (T_t - T_s). \quad (3)$$

Розглянемо систему двох теплових потоків. На рис. 1 показано ентальпійну діаграму цих технологічних потоків – потоки зображено відрізками прямих у системі координат $T(H)$.

Потік 1 ($CP_1 = 3$ кВт / $^{\circ}\text{C}$) потрібно охолодити від 100°C до 60°C , а потік 2 ($CP_2 = 4$ кВт / $^{\circ}\text{C}$) – нагріти від 50°C до 80°C . Використовуючи (3), знайдемо кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання потоку 2: $\Delta H_2 = \Delta T_2 \cdot CP_2 = (80 - 50) \cdot 4 = 120$ кВт. З іншого боку, потік 1 має надлишок енергії $\Delta H_1 = \Delta T_1 \cdot CP_1 = (100 - 60) \cdot 3 = 120$ кВт. Різниця між кінцевою температурою потоку 1 і початковою температурою потоку 2 дорівнює 10°C .

З'єднаємо потоки 1 и 2 протистручним теплообмінником, що реалізує мінімальну температурну різницю 10°C , при цьому вся надлишкова енергія потоку 1 передається потоку 2 (рис. 2, а, 2, б). Відрізки прямих, що відповідають тепловим потокам на ентальпійній діаграмі, розташовані таким чином, що їх проекції на вісь H повністю перекривають одна одну.

Якщо вибрати теплообмінник, в якому мінімальна температурна різниця між потоками була б 20°C , то кількість тепла, переданого від потоку 1 до потоку 2, зменшиться до 90 кВт. При цьому потрібно охолодження потоку 1 на 30 кВт за допомогою зовнішнього охолоджувача та нагрівання потоку 2 на 30 кВт за допомогою зовнішнього джерела тепла (рис. 2, в, 2, г). Відрізки прямих, що зображують потоки, зміщені один відносно одного так, що мінімальна відстань між ними по осі T дорівнює 20°C . При цьому частина осі H , що є загальною для проекцій обох відрізків, є енергією рекуперації.

З прикладу, що розглянуто, очевидно, що, збільшуючи мінімальну температурну різницю теплоносіїв в теплообміннику, ми зменшуємо капітальні витрати, але збільшуємо витрати на додаткову енергію.

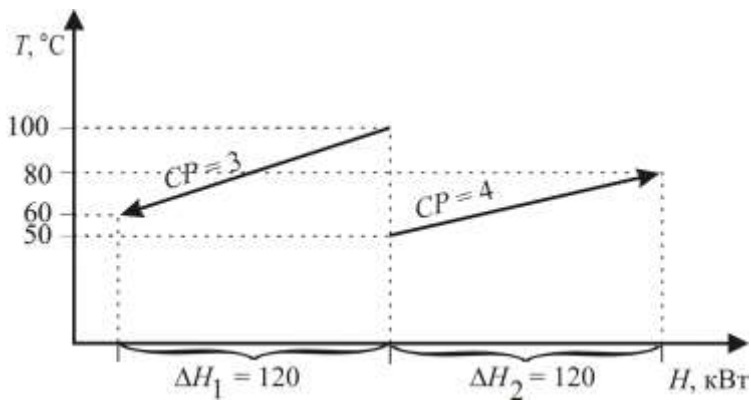
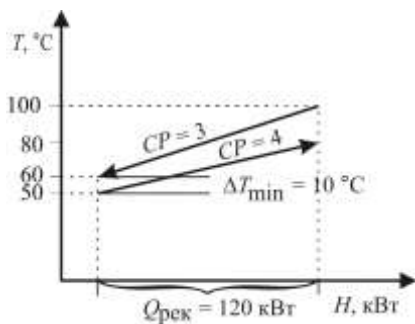
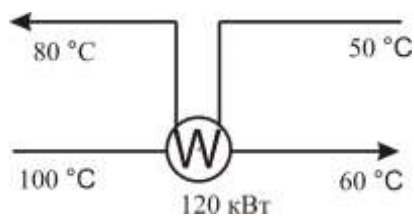


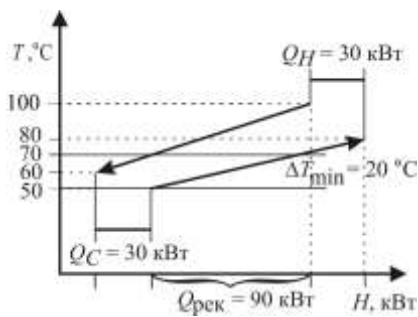
Рисунок 1 – Ентальпійна діаграма потоків 1 і 2



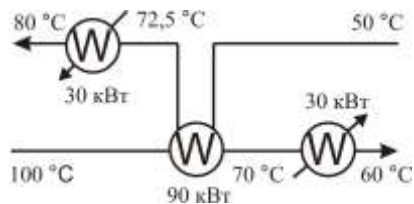
a



б



в



г

Рисунок 2 – Повна і часткова рекуперация енергії

ПОБУДОВА СКЛАДОВИХ КРИВИХ ПОТОКІВ ХТС

Розглянемо спрощену схему ХТС (рис. 3), що має чотири теплових потоки, дані яких подані в табл. 1.

На рис. 4 показано ентальпійну діаграму потоків ХТС, що розглядається.

Таблиця 1

№ потоку	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_r, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$					
1	холодний	20	135	4,0					
2	гарячий	170	60	6,0					
3	холодний	80	140	8,0 <tr> <td>4</td> <td>гарячий</td> <td>150</td> <td>30</td> <td>3,0</td> </tr>	4	гарячий	150	30	3,0
4	гарячий	150	30	3,0					

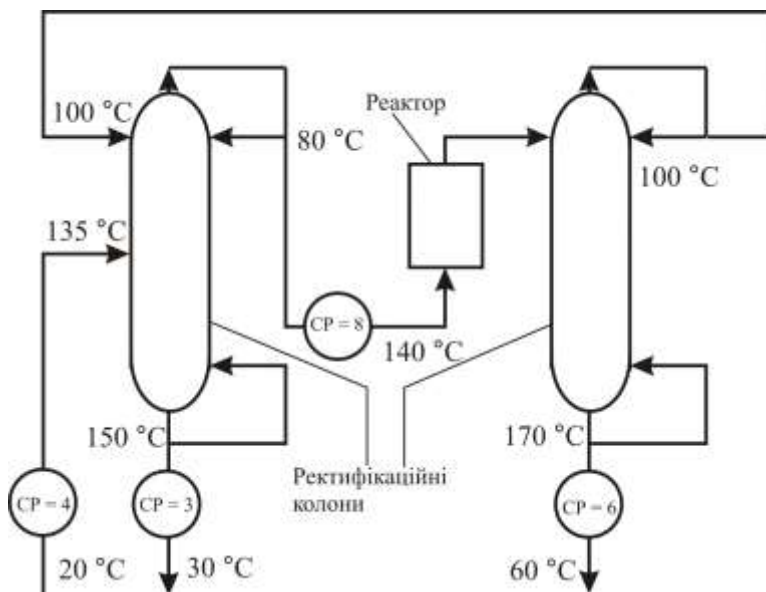


Рисунок 3 – Спрощена схема ХТС

Для побудови складової кривої потоків, що охолоджуються, («гарячої» складової кривої) розташуємо початкові та кінцеві температури гарячих потоків за зростанням і розіб'ємо на інтервали: (30, 60), (60, 150), (150, 170). Визначимо довжину інтервалів ΔT_{H_i} : $\Delta T_{H_1} = 30$, $\Delta T_{H_2} = 90$, $\Delta T_{H_3} = 20$.

Для кожного інтервалу просумуємо значення потокових теплоємностей потоків, температурні границі яких включають цей інтервал:

$$CP_{H_1} = CP_4 = 3; \quad CP_{H_2} = CP_2 + CP_4 = 9; \quad CP_{H_3} = CP_2 = 6.$$

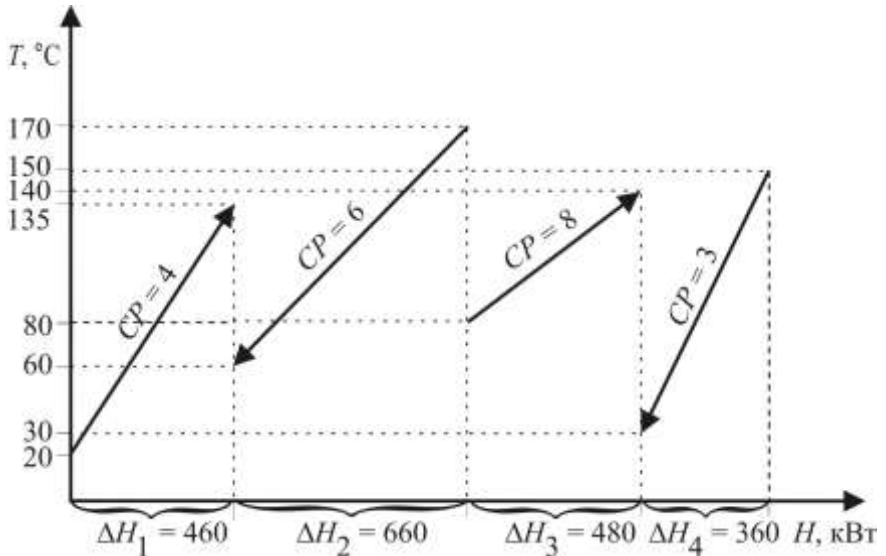


Рисунок 4 – Ентальпійная діаграма потоків ХТС

Використовуючи співвідношення (3), можна розрахувати величини ΔH_{H_i} :

$$\Delta H_{H_1} = \Delta T_{H_1} \cdot CP_{H_1} = 30 \cdot 3 = 90;$$

$$\Delta H_{H_2} = \Delta T_{H_2} \cdot CP_{H_2} = 90 \cdot 9 = 810;$$

$$\Delta H_{H_3} = \Delta T_{H_3} \cdot CP_{H_3} = 20 \cdot 6 = 120.$$

Повторімо процедуру для холодних потоків. Для них також можна виділити три температурних інтервали (20, 80), (80, 135), (135, 140). Довжина інтервалів ΔT_{C_i} складає відповідно $\Delta T_{C_1} = 60$, $\Delta T_{C_2} = 55$, $\Delta T_{C_3} = 5$.

Потокові теплоємності цих інтервалів:

$$CP_{C_1} = CP_1 = 4, \quad CP_{C_2} = CP_1 + CP_3 = 12, \quad CP_{C_3} = CP_3 = 8,$$

а зміна ентальпії ΔH_{C_i} :

$$\Delta H_{C_1} = \Delta T_{C_1} \cdot CP_{C_1} = 60 \cdot 4 = 240,$$

$$\Delta H_{C_2} = \Delta T_{C_2} \cdot CP_{C_2} = 55 \cdot 12 = 660, \quad \Delta H_{C_3} = \Delta T_{C_3} \cdot CP_{C_3} = 5 \cdot 8 = 40.$$

Після виконання обчислень можна зобразити «гарячу» та «холодну» складові криві у системі координат $T(H)$ (рис. 5).

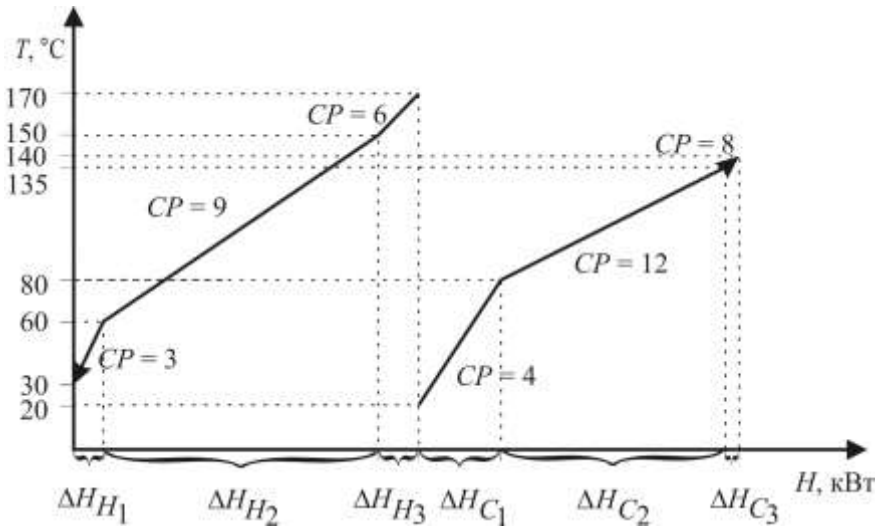


Рисунок 5 – Складові криві

«ТОЧКА ПІНЧА». СІТКОВА ДІАГРАМА ПОТОКІВ ХТС

При проектуванні мережі теплообмінників можна задати таку величину ΔT_{\min} , щоб мінімальна температурна різниця кожного теплообмінника мережі її не перевищувала. Для прикладу з табл. 1 задамо $\Delta T_{\min} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і розташуємо «гарячу» і «холодну» складові криві таким чином, щоб відстань між ними по осі T була не менше ніж $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). При цьому відстань по осі H між складовими кривими на «гарячому» і «холодному» кінцях дорівнює відповідно мінімальній кількості енергії, що необхідна для нагрівання ($Q_{H\min} = 40\text{ кВт}$) і охолодження ($Q_{C\min} = 120\text{ кВт}$) системи. Проекція на вісь H області, в якій складові криві перекривають одна одну, має значення максимальної потужності рекуперації, що може бути здійснена при $\Delta T_{\min} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($Q_{\text{рек}} = 900\text{ кВт}$).

Точка, в якій відстань між складовими кривими дорівнює ΔT_{\min} , називається «точкою пінча». Для «гарячої» складової кривої температура в точці пінча дорівнює $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для холодної – $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Цільові енергетичні значення $Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$ можна обчислити також за допомогою методу табличного алгоритму.

Для цього зрушимо границі температурних інтервалів потоків: зменшимо початкові та кінцеві температури «гарячих» потоків на $\Delta T_{\min} / 2$ і збільшимо відповідні температури «холодних» потоків на таку ж величину. В табл. 2 наведено зрушені значення температур потоків ХТС, що розглядається.

Таблиця 2

№ потоку	Вид потоку	$T_s, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_s^*, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_t^*, \text{ }^{\circ}\text{C}$
1	холодний	20	135	25	140
2	гарячий	170	60	165	55
3	холодний	80	140	85	145
4	гарячий	150	30	145	25

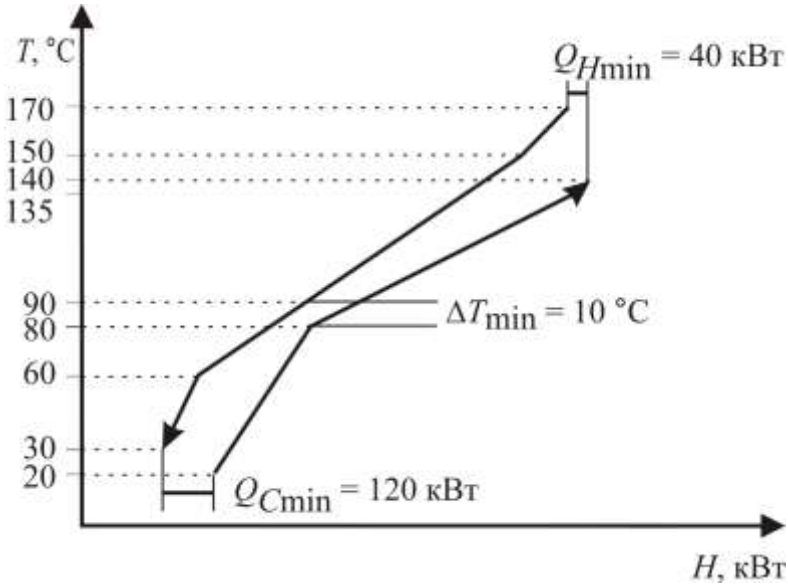


Рисунок 6 – Зрушення складових кривих для $\Delta T_{\min} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Розташуємо зрушені температури у порядку зменшення. Для цих температурних інтервалів обчислимо температурну різницю $\Delta T_{\text{інт}}$, потокову теплоємність $CP_{\text{інт}} = \sum CP_C - \sum CP_H$, зміну ентальпії $\Delta H_{\text{інт}} = CP_{\text{інт}} \cdot \Delta T_{\text{інт}}$ та відмітимо надлишок чи нестачу тепла в цьому інтервалі. Отримані результати зведемо до табл. 3.

Розмістимо температурні інтервали у вигляді каскаду, що спадає, і визначимо послідовно зміну ентальпії кожного інтервалу, рухаючись униз по температурній шкалі. При цьому будемо вважати, що перший температурний інтервал не отримує тепла від зовнішніх енергоносіїв (рис. 7, а). Перший температурний інтервал має надлишок 120 кВт енергії. Якщо це тепло буде передано на другий інтервал, його надлишок тепла збільшиться і буде складати 125 кВт. Це тепло може бути передано в третій інтервал і частково компенсує його нестачу – воно набуде значення – 40 кВт, що перейде до четвертого інтервалу і зменшить надлишок енергії у

ньому до 110 кВт. Останній п'ятий інтервал може прийняти тільки 30 кВт, тому 80 кВт перейдуть до охолоджуючого теплоносія.

Таблиця 3

Температури на границях інтервалів	Розподіл потоків	$\Delta T_{int}, ^\circ C$	$CP_{int},$ кВт / $^\circ C$	$\Delta H_{int},$ кВт	Надлишок/ нестача
165		20	-6	-120	надлишок
145		5	-1	-5	надлишок
140		55	3	165	нестача
85		30	-5	-150	надлишок
55		30	1	30	нестача
25					

Оскільки передача тепла від більш холодних потоків до більш гарячих неможлива, треба підвести до першого температурного інтервалу таку кількість енергії, щоб у каскаді не було негативних значень енергії, що передається. Очевидно, що величина найменшої потужності гарячих зовнішніх теплоносіїв повинна дорівнювати значенню найбільшої нестачі тепла в температурних інтервалах. Таким чином, якщо передати першому температурному інтервалу 40 кВт та повторити розрахунки теплового каскаду, отримаємо нульове значення енергії, що може перейти від третього інтервалу до четвертого (рис. 7, б). Точка, для якої тепловий потік на границі інтервалів дорівнює нулю, буде точкою пінча, при цьому температура пінча «гарячих» потоків буде на $\Delta T_{min}/2$ більше, а «холодних» – на $\Delta T_{min}/2$ менше граничної температури інтервалів, між якими відсутня передача тепла. У системі, що розглядається, це відповідно 90 $^\circ C$ та 80 $^\circ C$. Отримані за допомогою табличного алгоритму

значення мінімальної потужності зовнішніх утиліт $Q_{H\min} = 40$ кВт, $Q_{C\min} = 120$ кВт. Це збігається з попередніми результатами методу складових кривих.

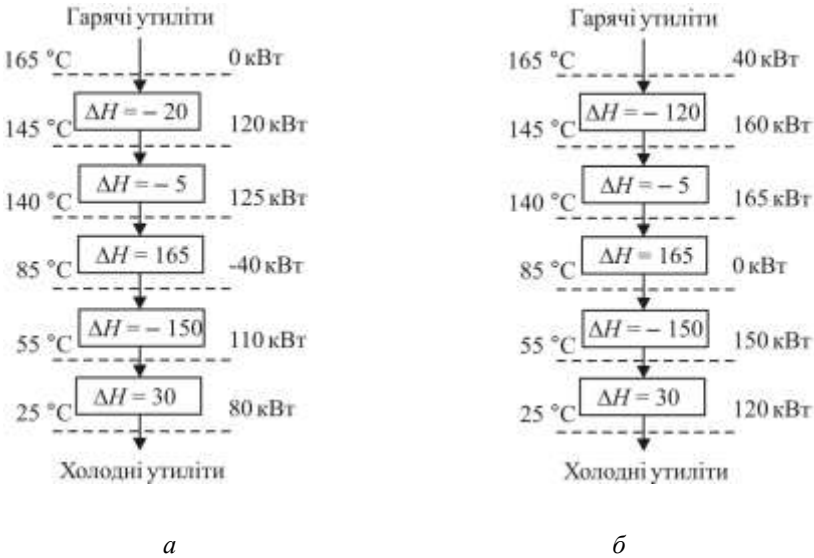


Рисунок 7 – Тепловий каскад для $\Delta T_{\min} = 10$ °C

Вибір значення ΔT_{\min} базується на компромісі між капітальними витратами та витратами на додаткову енергію, що потребується для функціонування системи, тобто є задачею оптимізації з обмеженнями.

Для вибраного значення ΔT_{\min} можна визначити мінімальні значення додаткової енергії для підігрівання та охолодження потоків системи і побудувати сіткову діаграму потоків, використання якої спрощує розташування мережі теплообмінників. На сітковій діаграмі з лівого боку система потоків потребує додаткового тепла від зовнішніх утиліт (це відповідає частині складових кривих вище пінча), а з правого – охолодження від зовнішніх утиліт (складові криві нижче пінча).

Для потоків з прикладу при $\Delta T_{\min} = 10$ °C сіткова діаграма показана на рис. 8.

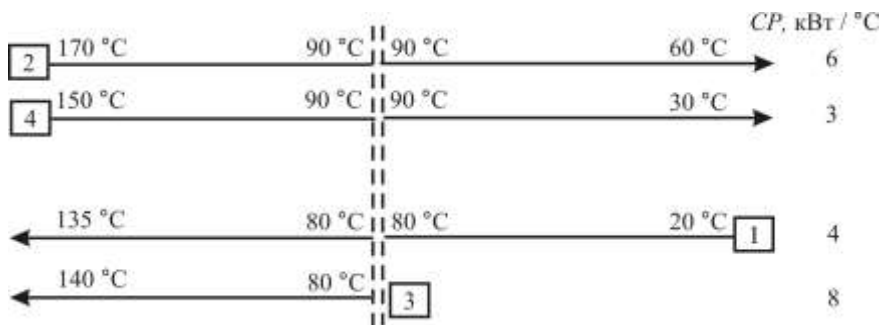


Рисунок 8 – Сіткова діаграма

ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖИ ТЕПЛОБМІННИКІВ З МАКСИМАЛЬНОЮ РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗАДАНОГО ЗНАЧЕННЯ ΔT_{\min}

Сформулюємо правила проектування мережі теплообмінників, що забезпечують максимальну рекуперацію енергії при заданому значенні ΔT_{\min} :

1. Розбити вихідну систему потоків на дві підсистеми – потоки вище точки пінча и нижче точки пінча.
2. Проводити розташування теплообмінників у підсистемах незалежно, рухаючись від точки пінча.
3. Починати з потоків, що входять до області пінча та мають найбільше значення потокової теплоємності.
4. В області пінча при установці зв'язку дотримуватись правила $CP_{\text{вих. пот}} \geq CP_{\text{вх. пот}}$.
5. Робити максимальним навантаження теплообмінника, що зв'яже кожну пару потоків. Відмічати «галочкою» потоки, для яких потреба за енергією задоволена.
6. Визначати кількість енергії зовнішнього енергоносія, коли всі можливості рекуперації в підсистемі вичерпані.

Розглянемо рис. 9, а. На ньому зображено підсистему, що створюється потоками вище точки пінча. Тут два вхідних і два вихідних

потоки. Вхідний потік 2 має більшу потокову теплоємність, ніж потік 4. Ми можемо зв'язати потік 2 тільки з потоком 3, тому що $CP_3 > CP_2$, а $CP_1 < CP_2$. Визначимо теплове навантаження теплообмінника Т1. Потік 3 може прийняти 480 кВт, а потік 2 – віддати 480 кВт. Якщо з'єднати ці потоки теплообмінником з тепловим навантаженням 480 кВт, ми повністю задовольняємо їх потребу в енергії. Позначимо обидва потоки «галочками» (рис. 9, б).

Єдиний можливий зв'язок тепер – це зв'язок потоків 4 і 1. Встановлюючи між ними теплообмінник (рис. 9, в), ми дотримуємось правил проектування, що описані вище. Потік 1 може прийняти 220 кВт, а потік 4 – віддати 180 кВт, отже, теплове навантаження теплообмінника Т2 буде дорівнювати 180 кВт. Позначимо «галочкою» потік 4.

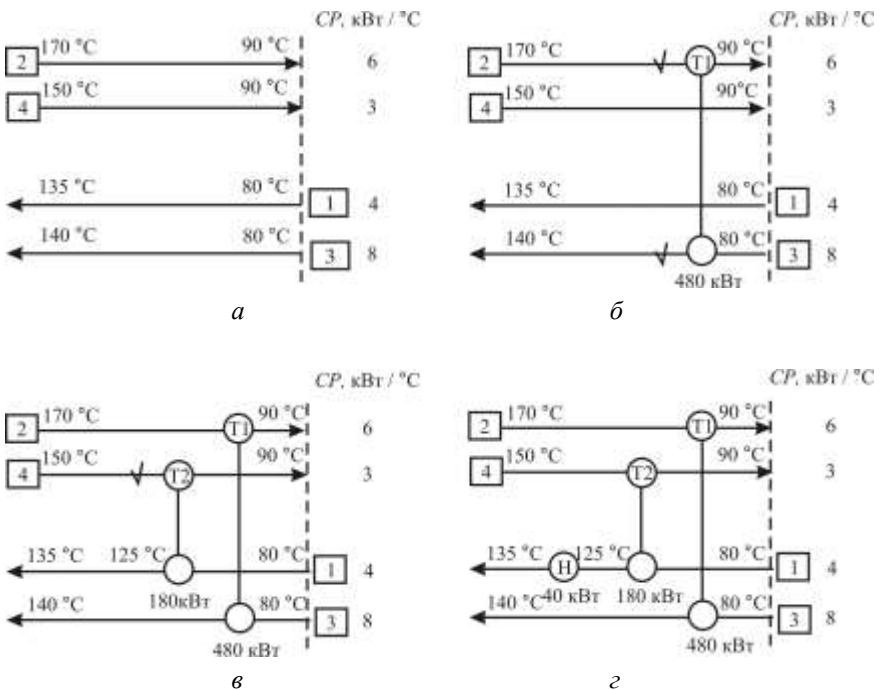


Рисунок 9 – Установка теплообмінників в області вище пінча

Остається підвести до потоку 1 40 кВт від зовнішнього теплоносія (рис. 9, з).

На рис. 10, а показано підсистему потоків нижче пінча. Тут один вхідний потік – потік 1. Для зв'язку теплообмінником потоку 1 відповідає тільки вихідний потік 2 ($CP_2 > CP_1$, $CP_4 < CP_1$). Потік 1 може прийняти 240 кВт, а потік 2 – віддати 180 кВт. Встановимо теплообмінник Т3 з тепловим навантаженням 180 кВт та позначимо «галочкою» потік 2 (рис. 10, б).

Щоб задовольнити потребу потоку 1 в енергії (60 кВт), з'єднаємо його з потоком 4 теплообмінником Т4 (рис. 10, в). Незважаючи на те, що $CP_4 < CP_1$, ми не порушимо мінімальної температурної різниці між потоками, оскільки віддалилися від області пінча. Позначимо «галочкою» потік 1.

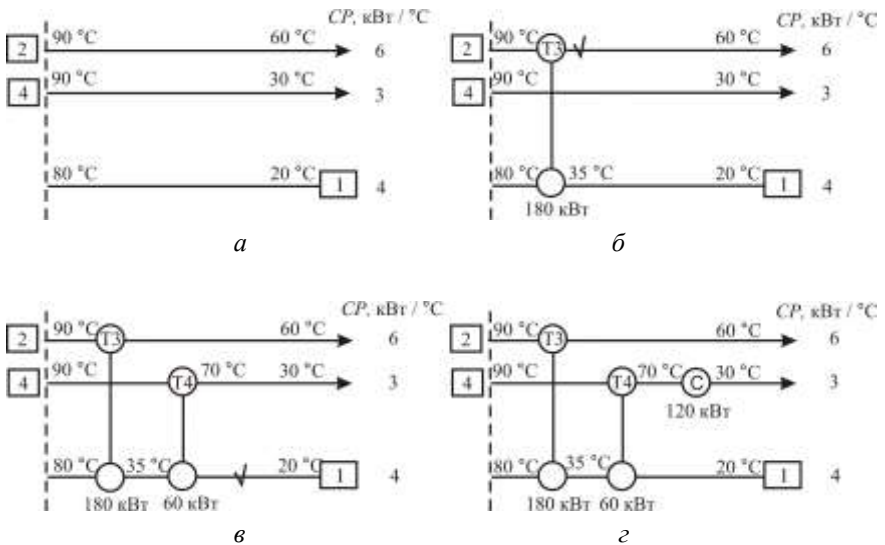


Рисунок 10 – Установка теплообмінників в області нижче пінча

Визначимо кількість енергії, що потрібно відвести від потоку 4 за допомогою зовнішнього охолоджувача – 120 кВт (рис. 10, з).

Отриманий проект мережі теплообмінників показано на рис. 11. Ця мережа відповідає вимозі максимуму рекуперації енергії. Це підтверджується фактом, що кількість додаткової енергії для нагрівання і охолодження системи співпадає з результатом, що одержано при зрушенні складових кривих (рис. 6).

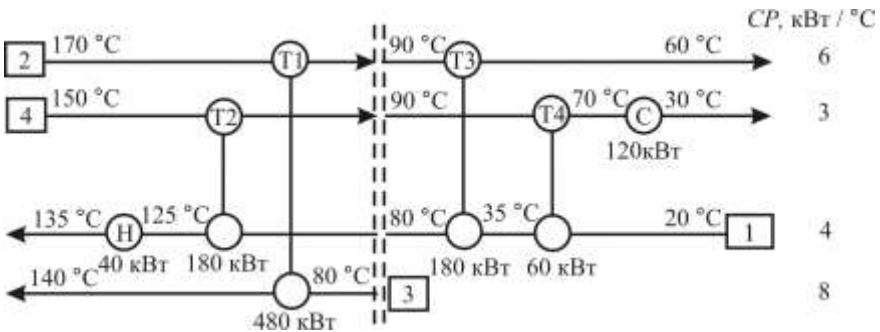


Рисунок 11.– Остаточний проект

На рис. 12 показано спрощену схему ХТС з розташованими теплообмінниками.

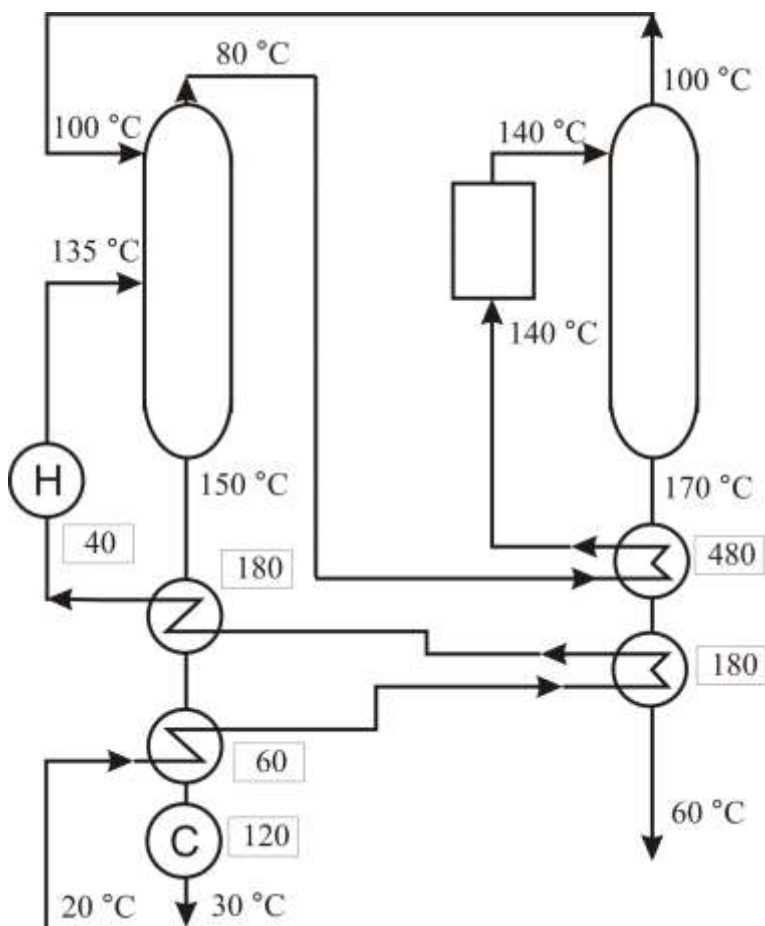


Рисунок 12 – Спрощена схема ХТС з максимальною рекуперацією енергії

ЗАВДАННЯ

Варіант 1

№ з/п	Вид потоку	$T_s, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_t, \text{ }^\circ\text{C}$	$CP, \text{ кВт} / \text{ }^\circ\text{C}$
1	гарячий	180	80	1
2	гарячий	130	40	2
3	холодний	60	100	4
4	холодний	30	120	1,8
$\Delta T_{\min} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$				

Варіант 2

№ з/п	Вид потоку	$T_s, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_t, \text{ }^\circ\text{C}$	$CP, \text{ кВт} / \text{ }^\circ\text{C}$
1	гарячий	320	200	1,8
2	гарячий	480	290	2
3	холодний	240	500	1
4	холодний	140	320	1,5
$\Delta T_{\min} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$				

Варіант 3

№ з/п	Вид потоку	$T_s, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_t, \text{ }^\circ\text{C}$	$CP, \text{ кВт} / \text{ }^\circ\text{C}$
1	гарячий	300	80	0,3
2	гарячий	200	40	0,45
3	холодний	40	180	0,4
4	холодний	140	280	0,6
$\Delta T_{\min} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$				

Варіант 4

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодний	60	180	3
2	гарячий	180	40	2
3	холодний	30	130	2,2
4	гарячий	150	40	4
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Варіант 5

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	145	60	2
2	гарячий	100	65	8
3	холодний	70	140	5,5
4	холодний	80	100	5
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 6

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодний	160	400	1,5
2	гарячий	400	120	1
3	холодний	100	300	1
4	гарячий	340	120	2
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Вариант 7

№ з/п	Вид потока	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	350	115	1
2	горячий	260	150	3
3	холодный	65	310	2
4	холодный	100	170	0,5
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Вариант 8

№ з/п	Вид потока	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	160	40	75
2	горячий	75	40	600
3	холодный	25	140	35
4	холодный	80	150	165
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Вариант 9

№ з/п	Вид потока	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	240	80	10
2	горячий	220	165	50
3	холодный	130	250	10
4	холодный	150	200	60
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 10

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодний	20	180	2
2	гарячий	240	40	1,5
3	холодний	140	230	3
4	гарячий	200	80	2,5
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Варіант 11

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	180	70	5
2	гарячий	130	40	10
3	холодний	60	90	20
4	холодний	30	120	9
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 12

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	500	200	9
2	гарячий	480	290	10
3	холодний	240	480	5
4	холодний	140	500	9
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Вариант 13

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	240	60	3
2	горячий	200	20	4
3	холодный	40	180	4
4	холодный	140	300	6
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Вариант 14

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	200	40	4
2	горячий	150	30	8
3	холодный	60	180	6
4	холодный	30	140	4
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Вариант 15

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	170	60	7
2	горячий	150	65	16
3	холодный	70	150	10
4	холодный	80	100	8
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 16

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодний	160	400	3
2	гарячий	300	160	2
3	холодний	100	300	2
4	гарячий	340	120	3
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 17

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	320	110	2
2	гарячий	250	150	6
3	холодний	60	300	4
4	холодний	100	170	1
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 18

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	200	40	50
2	гарячий	100	40	200
3	холодний	25	160	30
4	холодний	80	150	160
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Вариант 19

№ з/п	Вид потока	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	горячий	220	80	1
2	горячий	200	50	5
3	холодный	80	250	1
4	холодный	140	200	6
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Вариант 20

№ з/п	Вид потока	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодный	20	160	4
2	горячий	200	40	3
3	холодный	80	220	6
4	горячий	150	60	5
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Вариант 21

№ з/п	Вид потока	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодный	60	180	3
2	горячий	180	40	2
3	холодный	30	130	2,2
4	горячий	150	40	4
$\Delta T_{\min} = 10 ^\circ\text{C}$				

Варіант 22

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	320	200	1,8
2	гарячий	480	290	2
3	холодний	240	500	1
4	холодний	140	320	1,5
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 23

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	холодний	160	400	1,5
2	гарячий	400	120	1
3	холодний	100	300	1
4	гарячий	340	120	2
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

Варіант 24

№ з/п	Вид потоку	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт} / ^\circ\text{C}$
1	гарячий	350	115	1
2	гарячий	260	150	3
3	холодний	65	310	2
4	холодний	100	170	0,5
$\Delta T_{\min} = 20 ^\circ\text{C}$				

ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ

1. Титульний аркуш.
2. Мета роботи.
3. Завдання за варіантом.
4. Складові криві ΔT_{\min} .
5. Визначення точки пінча за допомогою табличного алгоритму.
6. Проект мережі теплообмінників у вигляді сіткової діаграми.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як визначити тепловміст теплового потоку?
2. Що таке ентальпійна діаграма теплового потоку?
3. Що таке мінімальна різниця температур теплоносіїв у теплообмінному устаткуванні?
4. Як будуються складові криві потоків системи?
5. Що таке точка пінча?
6. Як за допомогою складових кривих визначити мінімальну потужність зовнішніх енергоносіїв для підігрівання та охолодження системи і потужність рекуперації?
7. Які основні етапи табличного алгоритму?
8. Яких правил треба дотримуватись при зв'язуванні потоків системи теплообмінними пристроями?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Процеси та апарати хімічної технології: підручник у двох книгах. Кн. 2 / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А. П. ГОТЛІНСЬКА, В. О. ЛЕЩЕНКО [та ін.], – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 538 с.
2. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов: Библиотека журнала ИТЭ / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ [и др.]. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 458 с.

Навчальне видання

БАБАК Тетяна Геннадіївна
РЯБОВА Ірина Борисівна

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ
ТЕПЛООБМІННИКІВ ЗАСОБАМИ ПІНЧ-АНАЛІЗУ

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання за курсом
«Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів» для студентів
хімічних спеціальностей усіх форм навчання

Відповідальний за випуск проф. Ведь В.Є.
Роботу до видання рекомендував проф. Рассоха О.М.

Редактор Н.В.Верстюк

План 2017 р. , п.15

Підп. до друку 27.04.2017 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсет.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,8.
Наклад 50 прим. Зам № Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009р.
61002 Харків, вул.Кирпичева, 2

Друкарня НТУ «ХП». 61002 Харків, вул.Кирпичева, 2