

$$\lambda = \lambda_0 * \left[(1,023) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,0147) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0003) \right] \quad (10)$$

$$\lambda = \lambda_0 * \left[(1,011) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,0177) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0004) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^3 * (0) \right] \quad (11)$$

Плотность при $t_0 = 5^\circ\text{C}$ и $\rho_0 = 999,48\text{кг/м}^3$

$$\rho = \rho_0 * \left[(0,9984) + \frac{t - t_0}{t_0} * (-0,0004) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0001) \right] \quad (12)$$

Число Прандтля при $t_0 = 5^\circ\text{C}$ и $Pr_0 = 12,008$

$$Pr = Pr_0 * \left[(0,8717) + e^{\frac{t - t_0}{t_0} * (-0,1692)} + (0,0935) \right] \quad (13)$$

$$Pr = Pr_0 * \left[(-0,1629) * \text{LN} \left(\frac{t - t_0}{t_0} + (1,064) \right) + (0,6926) \right] \quad (14)$$

Удельная теплоемкость при $t_0 = 5^\circ\text{C}$ и $C_0 = 4,2048\text{ кДж/(кгК)}$

$$C = C_0 * \left[(1,062) + \frac{t - t_0}{t_0} * (-0,0123) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (0,0003) \right] \quad (15)$$

$$C = C_0 * \left[(0,9697) + \frac{t - t_0}{t_0} * (0,0112) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^2 * (-0,0006) + \left(\frac{t - t_0}{t_0} \right)^3 * (0) \right] \quad (16)$$

Методика расчета приведенных выше зависимостей была одинаковой.

Выводы

Зависимости (3...16) рекомендуются для расчета теплофизических свойств воды на линии насыщения в диапазоне температур $(0...300)^\circ\text{C}$.

Литература

1. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Свойства веществ: Справочник
2. М.: Агропромиздат.- 1985.-208 с.
3. Чубик И.А., Маслов А.М. Справочник по теплофизическим константам пищевых продуктов и полуфабрикатов. М.: "Пищевая промышленность". -1965.- 156 с.

УДК 665.63

ВПЛИВ ЕКСЕРГІЇ-НЕТТО НА РЕЗУЛЬТАТИ ПІНЧ-АНАЛІЗУ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ УСТАНОВКИ ЕЛОУ-АВТ

Кривда В.І., асп., Максимов М.В., д-р. техн. наук, професор
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

Запропоновано новий метод аналізу рекуперативного теплообміну, який поєднує в собі пінч-аналіз та ексергію-нетто. Нова методика дозволяє врахувати витрати енергії не лише під час експлуатації теплообмінних апаратів, а також під час їх виготовлення та будівництва.

The new method analysis of recuperation heat exchange, that combines in itself a pinch- analysis and exergy-net, is offered. New methodology allows to take into account the charges of energy not only during exploitation of heat-exchange vehicles, and also during their making and building.

Ключові слова: пінч-аналіз, ексергія-нетто, теплообмінник, холодний потік, гарячий потік.

Ефективне використання первинних енергоресурсів першочергова задача як виробника так і споживача теплової та електричної енергії. Цією проблемою займалися в минулому, і розв'язання цього питання залишається актуальним і на сьогодні, так як попит на енергоносії постійно зростає, а первинної сировини стає з кожним роком менше. Метою даного дослідження є виявити вплив затраченої енергії на ви-

робництво конструктивних елементів промислової установки, в якості якої розглядається реальна електроносолювальна установка (ЕЛОУ) – атмосферно вакуумна трубчатка (АВТ) Одеського НІЗ.

Одним із сучасних методів аналізу є пінч-аналіз [1,2], який полягає в оптимізації рекуперативного теплообміну, тобто у визначенні мінімального температурного напору між кривими гарячих і холодних потоків, який називається пінчем. Методом пінч-аналіза були проведені відповідні дослідження і виявлено розташування пінча в реальному процесі роботи установки ЕЛОУ-АВТ [3,4] за допомогою приведених грошових витрат. Але даний метод не враховує енергії та затрат, що пішли на виготовлення самої установки, на видобуття первинної сировини та т.ін. Метод ексєргії-нетто [5] дозволяє врахувати всі потоки ексєргії, починаючи з первинних.

Ціллю даної статті є визначити вплив ексєргії-нетто на результати пінч-аналізу при врахуванні первинних затрат енергії для оптимізації рекуперативного теплообміну установки ЕЛОУ-АВТ.

В [5] наведено енергетичний преїскурант матеріалів, за допомогою якого можна визначити кількість енергії, яка була витрачена на виробництво об'єктів з різних матеріалів. На «енергетичну» вартість матеріалів впливають два протилежні явища: по-перше, вони знижуються завдяки технологічному прогресу в гірській, металургійній та хімічній промисловостях, а по-друге, збільшуються, так як первинної сировини з роками меншає. Отже, можна вважати, що вказані величини більш стабільні та надійні, ніж грошові одиниці, вартість яких може змінюватись.

Метод пінч-аналізу передбачає визначення потокової теплоємності за виразом:

$$CP = \frac{H}{\Delta t}, \quad (1)$$

де Δt – різниця температур в потоці, °С;

H – тепла потужність потоку, МДж/год, яка визначається так

$$H = G \cdot \Delta h,$$

де G – розход продукту в теплообміннику, кг/год;

Δh – різниця ентальпій в потоці, кДж/кг.

Згідно методу ексєргії – нетто енергія витрачена на виготовлення установки ЕЛОУ-АВТ визначається так

$$E = M \cdot e_o, \quad (2)$$

де M - маса теплообмінного апарату, кг;

e_o - питома енергія, витрачена на виготовлення установки з даного виду матеріалу, МДж/кг.

Енергія визначена, за виразом (2) враховує весь термін роботи установки. А потокова теплоємність вираз (1) розраховується на годинний інтервал часу. Тому потрібно перерахувати значення E до годинного інтервалу часу E_e .

$$E_e = \frac{E}{T_m \cdot N},$$

де T_m – максимальна кількість годин роботи установки на рік, год;

N – кількість років.

Отримана енергія E_e в теплообмінних апаратах витрачається як на холодні так і на гарячі потоки і в рекуперативних теплообмінниках розподіляється порівну.

Виходячи з сказаного тепла потужність, яка враховує витрати енергії на спорудження теплообмінних апаратів буде записана наступним чином

$$H_e = H + E_e.$$

Потокова теплоємність, яка враховує ексєргію-нетто при експлуатації теплообмінних апаратів визначається за виразом

$$CP_e = \frac{H_e}{\Delta t}.$$

В [3] наведено результати розрахунку та потокові дані установки ЕЛОУ-АВТ без врахування енергії, яка пішла на виготовлення теплообмінних апаратів. В таблиці 1 наведені потокові дані установки ЕЛОУ-АВТ без врахування та з врахуванням ексєргії-нетто при терміні окупності установки 4 роки та 6000 год на рік.

Таблиця 1 – Потокові дані технологічних потоків установки ЕЛОУ-АВТ

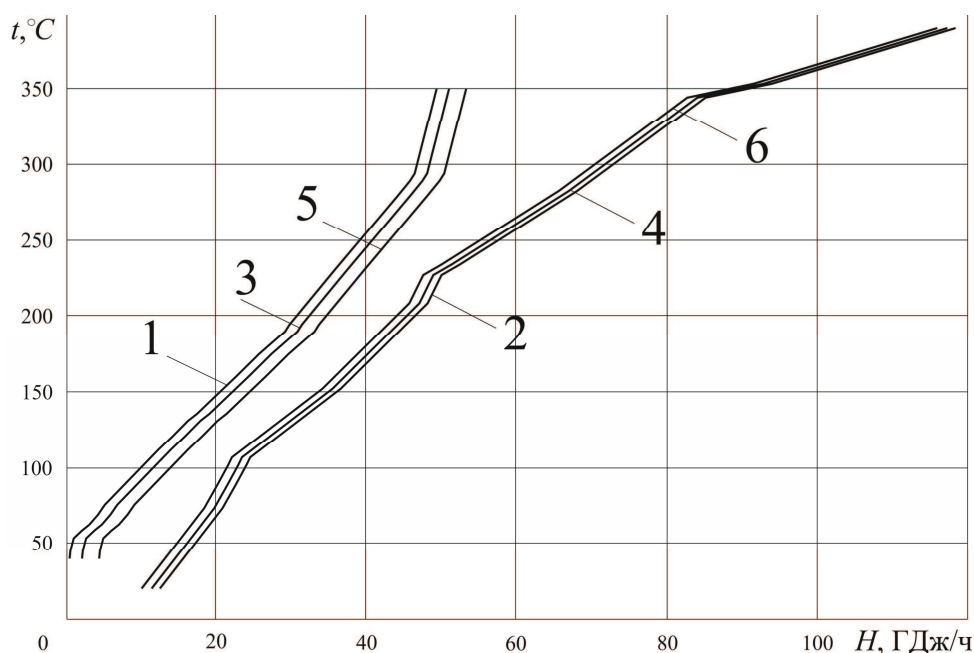
№	Назва потоку	Тип	Без врахування ексергії-нетто		З врахуванням ексергії-	
			CP , кВт/К	ΔH , кВт	CP_e , кВт/К	ΔH_e , кВт
1	УДФ Т-1/1,2	гар	39,8	3448,5	41,7	3619,2
	УДФ ВХ-31	гар	35,2	362,3	49,5	508,5
2	ДФ Т-6/1-6	гар	71,6	7895,8	71,7	9248,0
	ДФ Т-2/1-3	гар	61,4	2637,2	71,6	3076,0
3	ДФ ВХ-23/1,2	гар	36,8	2927,1	39,8	3170,9
	КФ Т-3/1-3	гар	64,9	5033,3	70,9	5496,4
4	КФ ВХ-22	гар	55,4	3060,8	57,6	3182,7
	ВГ Т-5/1-5	гар	52,4	5061,9	61,7	5963,7
5	ВГ Т-1/3-6	гар	44,2	3575,6	48,7	3941,2
	ВГ ВХ-32/1,2	гар	38,9	1343,9	42,4	1465,8
6	Гудрон Т-4	гар	56,4	10382,5	57,1	10504,4
	Гудрон ВХ-33/1,2	гар	12,1	960,6	13,3	1058,1
7	Бензин ВХ-1/1,2+Х-1	гар	14,9	1337,2	15,6	1398,2
	Бензин Х-2 +Х-2+С-2	гар		180,6		180,6
гар		24,4	320,9	29,1	381,9	
гар		12,8	729,7	13,9	790,7	
гар			494,3		494,3	
8	Нафта Т-1/1,2	хол	49,3	3352,4	51,8	3523,0
	Нафта Т-1/3-6	хол	58,1	3774,9	63,7	4140,5
9	Нафта Т-2/1-3	хол	46,7	2475,0	55,0	2913,7
10	Нафта Т-3/1-3	хол	59,3	4800,5	65,0	5263,6
11	Нафта Т-4	хол	92,7	9571,7	93,9	9693,6
12	Нафта Т-5/1-5	хол	45,9	8182,0	51,0	9083,9
13	Нафта Т-6/1-6	хол	63,0	8126,7	71,7	9248,0
14	Нафта піч П-1/2+П-1/1	хол	270,4	34672,0	289,4	37109,5
15	Мазут піч П-2	хол	671,7	30628,2	698,4	31846,9

Аналіз результатів наведених в таблиці показує, що енергія первинних затрат впливає на теплову потужність та потокову теплоємність і залежить від терміну енергетичної окупності установки, що приймається. Крім того, враховуючи нестабільну економічну ситуацію слід також враховувати максимальний час використання установки та ефективну кількість років її роботи. В таблиці 2 приведені результати аналізу, де приймалися значення від 2 до 8 років при 6000 годин роботи на рік.

Таблиця 2 – Аналіз впливу часу роботи установки на величину тепла, яка рекуперативно передається в теплообмінних апаратах

	6000 год впродовж 2 років	6000 год впродовж 4 років	6000 год впродовж 6 років	6000 год впродовж 8 років
$Q_{\text{конд}}$, кВт	12,3	11,3	10,9	10,8
$Q_{\text{печи}}$, кВт	59,3	62,7	63,8	64,4
$Q_{\text{рекуп}}$, кВт	45,7	42,4	41,2	40,7
Пінч, °С	30,0	40,0	42,0	43,0

На рис. 1 наведено спільне розташування кривих гарячих і холодних потоків, де враховано енергію-нетто первинних затрат.



1 – крива гарячих потоків без врахування енергії-нетто; 2 – крива холодних потоків без врахування енергії-нетто; 3 – крива гарячих потоків при терміні окупності 6 років; 4 – крива холодних потоків при терміні окупності 6 років; 5 – крива гарячих потоків при терміні окупності 2 роки; 6 – крива холодних потоків при терміні окупності 2 роки.

Рис. 1 – Спільне розташування кривих гарячих і холодних потоків з врахуванням енергії-нетто

Проведені дослідження виявили, що первинна енергія витрачених сировинних ресурсів впливає на визначення мінімального температурного напору між кривими гарячих та холодних потоків. Також існує залежність між ефективним строком використання технологічного обладнання для виготовлення кінцевого продукту. Поєднання методу пінч-аналізу [1,2] з методом ексергії-нетто [5] дало можливість враховувати як затрати енергії, які витрачаються під час експлуатації установки, так і затрати під час її виготовлення та будівництва. Врахування ексергії-нетто приводить до зміни розташування пінча з 30 до 43°C.

Література

1. Smith R. Chemical Process Design and Integration / R. Smith – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, – 2005. – 688р.
2. Р. Смит, И. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ и др. – Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, И. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ и др. – Харьков: НТУУ “ХПИ”. – 2000. – 458 с.
3. Максимов М.В., Кривда В.И. Реконструкция установки ЭЛОУ-АВТ на основе оптимизации холодных и горячих потоков. – Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2011. - №4, - С. 10-16
4. Максимов М.В., Кривда В.И. Застосування методу пінч-аналізу для оптимізації теплообмінного устаткування установки атмосферно-вакуумної трубчатки. – Праці Одеського політехнічного університету, 2011. Вип. 2 (36) с. 115-119
5. Янговский Е.И. Потоки энергии и эксергии. – М.: Наука, 1988. – 144с.