

Досліджено роботу повітряних холодильників, котрі беруть участь в технологічному процесі переробки нафти. Визначена кількість теплоти, що відводиться в довкілля, та її температурний потенціал. Запропоновано використати потенціал охолоджуваних середовищ для рекуперації теплових потоків з метою економії витрат на первинні енергоресурси

Ключові слова: повітряний холодильник, тепловий потік, температурний потенціал, теплова потужність

Исследована работа воздушных холодильников, участвующих в технологическом процессе переработки нефти. Определено количество теплоты, отводимое в окружающую среду, и ее температурный потенциал. Предложено использовать потенциал охлаждаемых сред для рекуперации тепловых потоков с целью экономии затрат на первичные энергоресурсы

Ключевые слова: воздушный холодильник, тепловой поток, температурный потенциал, тепловая мощность

УДК 665.63

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50948

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОВІТРЯНИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ УСТАНОВКИ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ

В. І. Кривда

Кандидат технічних наук

Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченко, 1, м. Одеса, Україна, 65044

E-mail: kryvda_v_i@ua.fm

1. Вступ

З часом резерви розвіданих первинних ресурсів вичерпуються, кількість нафти і природного газу, з розумною ціною добутки, з кожним роком стає менше, а попит на них зростає. Крім того, останнім часом спостерігається загальна тенденція стрімкого подорожчання первинних енергоресурсів, що у свою чергу призводить до зростання цін на кінцевий продукт. Очевидно, що економія первинних енергоресурсів є невід'ємною складовою будь-якого підприємства, зокрема – нафтопереробної галузі.

Повітряні холодильники є однією зі складових технологічного обладнання нафтопереробного заводу, зокрема установки атмосферної вакуумної трубчатки для підготовки та первинної переробки нафти [1]. Але існуючі на сьогодні схеми цих установок були сконструйовані майже півстоліття тому назад, коли спостерігалися інші співвідношення в ціні на теплообмінне обладнання та первинні енергоресурси. Перехід на застосування повітряних холодильників замість водяних є безперечно значним кроком на шляху до підвищення енергетичної ефективності виробничих процесів. А суттєвою перевагою повітряних холодильників безумовно є скорочення споживання чистої води втричі, що є досить актуальним в місцях, які географічно віддалені від природних джерел. Але застосування повітряних холодильників також передбачає використання значних потужностей для живлення вентиляторів. Тому, пошук принципово нових шляхів удосконалення структури установки первинної переробки нафти для підвищення ефективності її роботи є наразі актуальним.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Рекуперативний теплообмін активно обговорюється не лише серед науковців, але і практиків різних країн і є

одним з пріоритетних напрямків розвитку. Для ефективності збільшення повітряного охолодження запропоновано враховувати атмосферні фактори в умовах жаркого та сухого клімату з встановленням спеціального випаровуючого осушувача [2], або за умови різних значень відносної вологості та зміни вартості на гідрофільні матеріали [3]. Іншими шляхом є пошук методу для вирішення задачі математичного моделювання, в якій пропонується виконувати порівняння типового повітряного холодильника з рекуперативним, без застосування експериментальних дослідів, але після попереднього визначення переважних умов роботи [4], чисельне моделювання теплообмінних апаратів незалежно від пори року, в якій працює відбувається робочий процес [5]. Проблему підвищення ефективності використання повітряних холодильників пропонується вирішувати також за рахунок застосування нових композитних матеріалів з удосконаленими характеристиками [6], та з обов'язковим врахуванням робочого середовища теплообмінних апаратів з допустимими технологічними параметрами [7].

Отже, з практичної точки зору проблема удосконалення структури установки первинної переробки нафти з визначенням місця розташування повітряних холодильників залишається остаточно невирішеною.

3. Ціль та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначити можливість використання рекуперації теплових потоків повітряних холодильників для подальшого використання в циклі технологічного процесу нафтопереробного заводу з урахуванням теплофізичних властивостей вуглеводородів [8, 9].

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

– визначення реального температурного напору [10] та теплової потужності, яка відводиться в навколишнє середовище;

– розрахунок поверхні теплообміну повітряних холодильників для застосування під час рекуперативного нагріву теплових потоків.

4. Дослідження повітряних холодильників у складі установки первинної переробки нафти

4.1. Технологічне призначення повітряних холодильників

Дослідження проводились на прикладі реальної електрознесолювальної установки атмосферної вакуумної трубчатки (ЕЛОУ-АВТ) Одеського нафтопереробного заводу.

Всього під час дослідження даної установки ЕЛОУ-АВТ виявлено 8 повітряних холодильників, в яких робочими середовищами є: у ПХ-23 – дизельна фракція, у ПХ-32 – вакуумний газойль, у ПХ-22 – газова фракція, у ПХ-33 – гудрон, ПХ-4 – пропан-бутанова фракція, ПХ-1 – бензинова фракція колони К-1, ПХ-31 – важка дизельна фракція, ПХ-2 – бензинова фракція колони К-2.

Балансова кількість газової фракції прокачується послідовно через блок теплообмінників Т-3, де охолоджується потоком сирової нафти, доохолоджується в повітряному холодильнику ПХ-22 і з температурою не вище 50 °С виводиться з установки. В свою чергу, балансова кількість дизельної фракції прокачується послідовно через блок теплообмінників Т-2, де також охолоджується потоком сирової нафти, доохолоджується в повітряних холодильниках ПХ-23/1,2 і з температурою не вище 60 °С виводиться з установки. Балансова кількість важкої дизельної фракції виводиться в парк (у лінію дизельної фракції атмосферного блоку) через апарат повітряного охолодження ПХ-31, де охолоджується до температури не вище 60 °С (рис. 1).

Мазут з куба К-2 відкачується насосом і подається в піч П-2 двома паралельними потоками, при цьому 1-й потік мазуту прокачується через теплообмінник гудрону Т-4, де охолоджується потоком знесоленої нафти до температури не вище 150 °С, доохолоджується у повітряному холодильнику ПХ-33 і спрямовується в загальне заводське сховище (рис. 2).

Балансова кількість вакуумного газойля прокачується послідовно через теплообмінники Т-1, де охолоджується потоком сирової нафти, доохолоджується в повітряних холодильниках ПХ-32 до температури не вище 80 °С і виводиться з установки (рис. 3, а).

Зверху колони К-4, яка призначена для стабілізації бензинової фракції за допомогою виділення розчинених газів С1-С2 і пропан-бутанової фракції, суміш вуглеводневого газу, водяної пари і пропан-бутанової фракції поступає в конденсатор-холодильник повітряного охолодження ПХ-4, а потім доохолоджується у водяному холодильнику Х-4, далі газорідинна суміш поступає в рефлюксну ємність та направляється в блок амінової очистки сировини (рис. 3, б).

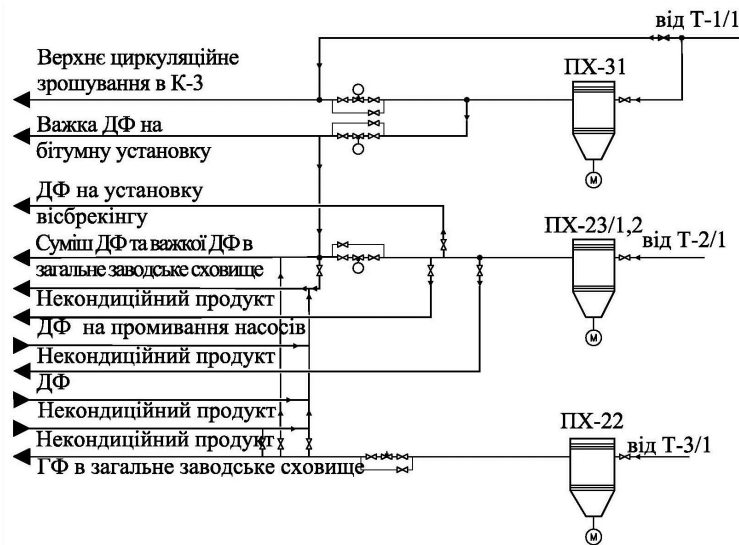


Рис. 1. Вузли монтажу ПХ-22, ПХ-23 та ПХ-31 в установці ЕЛОУ-АВТ

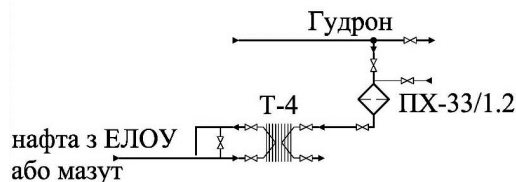


Рис. 2. Вузли монтажу ПХ-33 в установці ЕЛОУ-АВТ

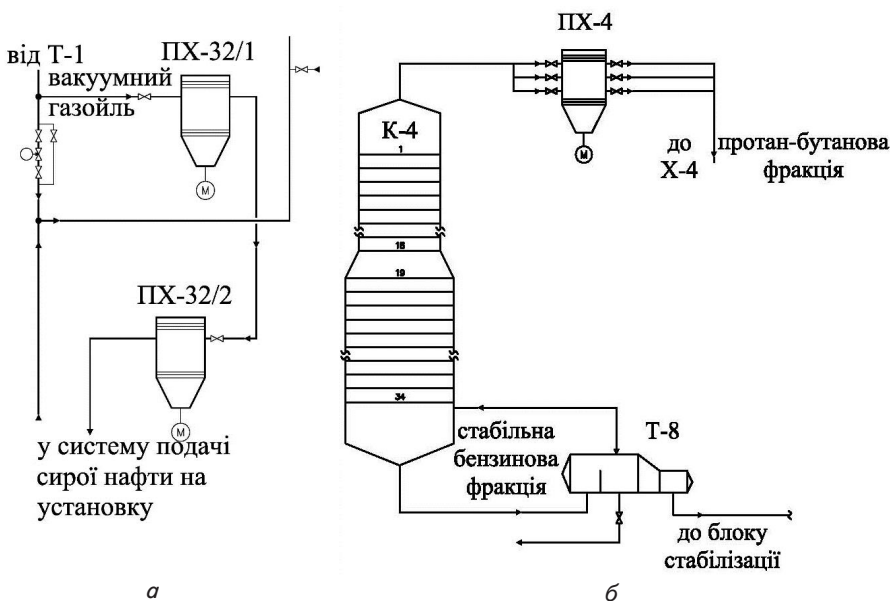


Рис. 3. Вузли монтажу в установці ЕЛОУ-АВТ: а – ПХ-32; б – ПХ-4

Зверху колони К-1, яка для призначена для відділення з нафти розчинених газів і частини бензинової фракції, суміш вуглеводневого газу, парів води і бензину поступає в 2 конденсатори-холодильники повітряного охолодження ПХ-1, потім доохолоджується у водяному холодильнику Х-1, а далі газорідинна суміш поступає в рефлюксну ємність С-1 (рис. 4).

Зверху колони К-2, яка призначена для ректифікації нафти з отриманням бензинової фракції, суміш вуглеводневого газу, парів води і бензину з температурою не вище 150 °С поступає в 2 конденсатори-холодильники повітряного охолодження ПХ-2, потім доохолоджується у водяному холодильнику Х-2, а вже далі газорідинна суміш поступає в рефлюксну ємність, в якій відбувається розділення газу, бензину і води. Несконденсований газ з рефлюксній ємності направляється в сепаратор і використовується як паливо для технологічних печей (рис. 5).

4. 2. Теплофізичний розрахунок повітряних холодильників

Кількість теплової потужності, що відводиться в довкілля через повітряні холодильники з відомим

складом середовища охолодження визначається за виразом:

$$Q = \frac{G\rho(t_2)(h(t_2)-h(t_1))}{4,19 \cdot 10^6}, \text{ Гкал/год} \quad (1)$$

де G – витрата, м³/год; $\rho(t_2)$ – густина активного середовища, кг/м³; $h(t_2), h(t_1)$ – ентальпія при кінцевій та початковій температурі відповідно, кДж/кг; $4,19 \cdot 10^6$ – коефіцієнт переведення ГДж в Гкал.

4. 3. Визначення необхідної поверхні теплообміну у випадку використання рекуперативного теплообміну

Зменшення температурного напору призводить до зменшення підведеної кількості енергії, яка в свою чергу має відображення в економії палива, що використовується в печах установок первинної переробки нафти [1]. Одночасно збільшується кількість енергії, яка рекуперується усередині установки від гарячих до холодних потоків [10, 11]. Для реалізації цього потрібні додаткові площі теплообміну, які збільшуються до того ж і через зменшення темпе-

ратурного напору. Встановлення таких нових теплообмінних апаратів із застосуванням розрахованих площин можливо під час виконання реконструкції існуючої установки.

Площі поверхні теплообміну, яка необхідна для нових теплообмінних апаратів визначається так:

$$F = \frac{Q_H}{k \cdot \Delta t}, \text{ м}^2 \quad (2)$$

де Q_H – кількість теплоти, що передана гарячим потоком, кВт; Δt – середньологаріфмічний температурний напір, °С; k – коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²·°С).

4. 4. Результати розрахунків основних теплофізичних параметрів повітряних холодильників установки первинної переробки нафти

Для визначення ефекту від використання повітряних холодильників на установці ЕЛОУ-АВТ насамперед потрібно діагностувати характер їх роботи і за (1) визначити кількість теплової потужності, що відводиться в довкілля, відповідно до робочих особливостей кожного з апаратів. Результати цих розрахунків приведено в табл. 1.

Для розрахунку теплової потужності у ПХ-4 потрібно врахувати, що робочим середовищем є пропан-бутанова фракція, що складається із суміші зрідженого та вуглеводневого газів з витратами 36,52 м³/год та 130 Нм³/год відповідно. Процентна складова зрідженого газу в ПХ-4 приведена в табл. 2.

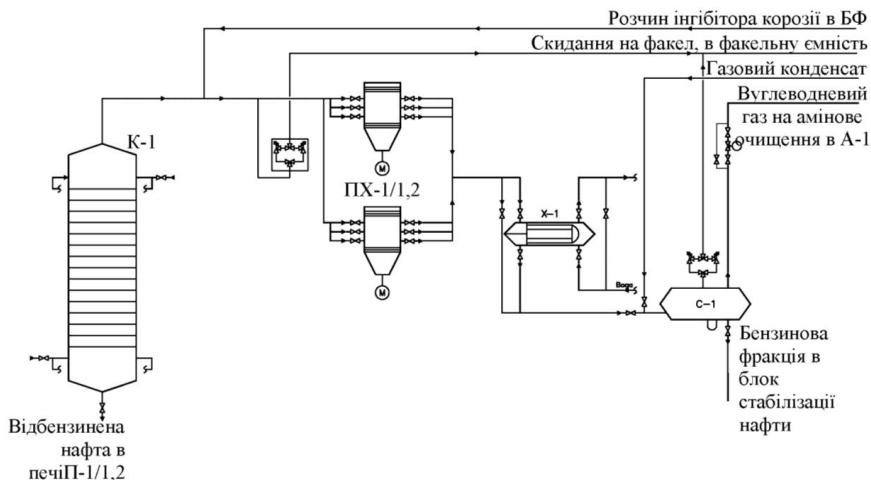


Рис. 4. Вузли монтажу ПХ-1 в установці ЕЛОУ-АВТ

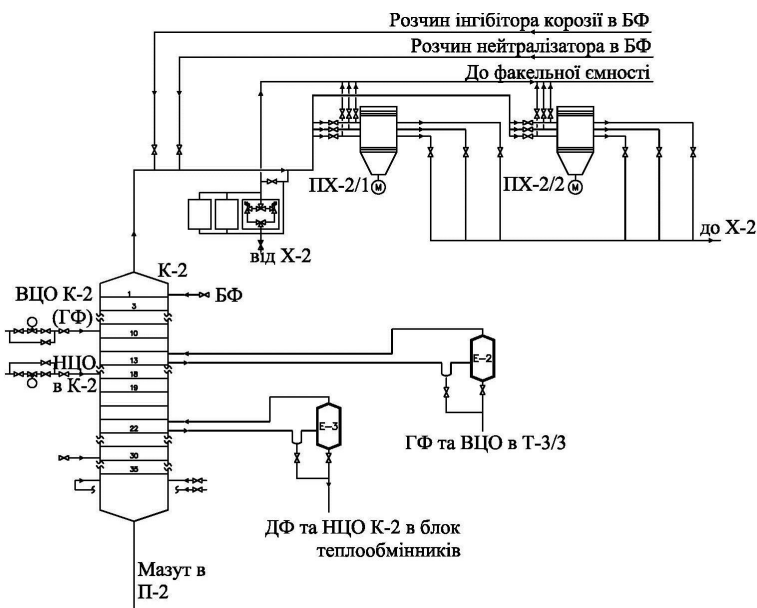


Рис. 5. Вузли монтажу ПХ-2 в установці ЕЛОУ-АВТ

Таблиця 1

Визначення втрат теплової потужності у повітряних холодильниках

Позначення холодильника на схемі	ПХ-22	ПХ-23	ПХ-31	ПХ-32	ПХ-33
Робоче середовище	Газова фракція	Дизельна фракція	Важка дизельна фракція	Вакуумний газойль	Гудрон
G, м ³ /год	34,99	75,9	63,29	70,3	26,2
Температура на вході, t ₁ , °C	112,85	133	73,24	144	162,57
Температура на виході, t ₂ , °C	43,01	57,8	62,96	79,55	83,32
ρ ₂₀ , кг/м ³	792,5	826,25	828,15	905,83	1000
ρ(t ₂), кг/м ³	719,9	743,27	789	743,27	927,6
h(t ₁), кДж/кг	247	60,8	76,7	91,2	361,74
h(t ₂), кДж/кг	86,5	142	66	63,6	182,1
Q, Гкал/год	0,965	1,09	0,128	0,39	1,042
Q, МВт	1,12	1,27	0,15	0,45	1,21

Таблиця 2

Склад зрідженого газу в ПХ-4 та його ентальпії при робочих температурах

Складовий хімічний елемент	Вагова концентрація, %	h ⁿ (t ₁), кДж/кг	h ^p (t ₂), кДж/кг
C ₂	3,7	570	212
C ₃	35,2		
i - C ₄	20,5		
n - C ₄	40,6		

Процентна складова сухого газу в ПХ-4 з визначенням теплофізичних параметрів приведена в табл. 3.

Таблиця 3

Склад сухого газу в ПХ-4 та його ентальпії при робочих температурах

Складовий хімічний елемент	Об'ємна концентрація z _i , % (об.)	h ^v _i (t ₁), кДж/Нм ³	z _i × h ^v _i (t ₁), кДж/Нм ³	h ^v _i (t ₂), кДж/Нм ³	z _i × h ^v _i (t ₂), кДж/Нм ³
H ₁	0,1	82,4	216	58,6	150
C ₁	3,5	102		71,0	
C ₂	14	127		88,5	
C ₃	57,6	218		151	
i - C ₄	9,8	264		183	
i - C ₄	15	285		198	

Теплота, яка передається сухим газом, незначна, тому в подальшому її величиною можна знехтувати. Витрату вуглеводневого газу прийнято рівною половині витрати всього газу з колони амінової очистки установки первинної переробки нафти.

Розрахунок для ПХ-1 виконується аналогічно попереднім повітряним холодильникам з урахуванням того, що робочим середовищем є суміш в газоподібному стані, концентрат якої відводиться з рефлюксної ємності. Визначення втрат теплової потужності у ПХ-4, ПХ-2 та ПХ-1 приведено в табл. 4.

Таблиця 4

Визначення втрат теплової потужності у ПХ-4, ПХ-2 та ПХ-1

Позначення холодильника на схемі	ПХ-4		ПХ-2		ПХ-1	
	Робоче середовище	Зріджений газ	Вуглеводневий газ (сухий)	Бензинова фракція	Бензинова фракція	Вуглеводневий газ
G, м ³ /год (Нм ³ /год)	36,52 м ³ /год	130 Нм ³ /год	56,24 м ³ /год	70,62 м ³ /год	130 Нм ³ /год	198,74 Нм ³ /ч
Температура на вході, t ₁ , °C	162,57	64,18	127,37	148,2		
Температура на виході, t ₂ , °C	64,18	45,07	65,61	58,33		
ρ ₂₀ , кг/м ³	1000	-	710,7	710,7	-	-
ρ(t ₂), кг/м ³	927,6	-	670,0	676,6	-	-
h(t ₁), кДж/кг	570,0	216,0	620,0	668	569	2782
h(t ₂), кДж/кг	212,0	150,0	140,0	123	201	2611
Q, Гкал/год	1,496	0,002	4,317	6215	0,0065	0,0114
	1,498			6,215		
Q, МВт	1,74	0,023	5,0	7,23		
	1,74			7,23		

Примітка: у ПХ-2 робочим середовищем є суміш бензинової фракції та газу з малою витратою, тому цим газом під час розрахунків можна знехтувати.

Витрати пари у випадку сумішей визначаються по вмісту води у сирій нафті. Вміст води в нафті після установки електрознесення складає 0,06 %. При витраті нафти 306,9 м³/год (при ρ²⁰_{нафти} = 867,3 кг/м³) вагова витрата складає 266,17 т/год, води – 159,7 кг/год.

В якості технологічного режиму роботи установки первинної переробки нафти прийнято режим роботи установки з продуктивністю 306,2 м³/год, що відпові-

дає 81,4 % проектної потужності, при цьому проектний час роботи приймається 8048 год/рік. При зміні продуктивності температури у вузлових точках технологічної схеми практично не змінюються.

При проектній потужності повітряні холодильники відводять у навколишнє середовище 23,8 МВт теплової енергії.

У випадку виключення повітряних холодильників з технологічної схеми установки первинної переробки нафти експлуатаційні витрати також будуть понижені на величину потужності вентиляторів (табл. 5).

При цьому відомо, що загальна кількість теплоти, що витрачається усіма повітряними холодильниками складає 18,17 МВт.

У повітряних холодильниках ПХ-22, ПХ-4, ПХ-31 гріючий потік досить низькопотенційний, тому приймається, що вода може нагріватись від 20 до 40 °С, а у інших підігрівачах – від 40 до 100 °С. Це дозволить визначити середній температурний напор і необхідну площу нагріву за (2) у випадку використання рекуперативного теплообміну для підігріву води за рахунок теплоти газів, що виходять з установки. Результати попередніх розрахунків приведено в табл. 6.

Таблиця 5

Електрична потужність вентиляторів повітряних холодильників

Позначення	Кількість, шт.	Потужність вентилятора, кВт	Загальна потужність, кВт
ПХ-1	2	75	150
ПХ-2	2	75	150
ПХ-4	1	75	75
ПХ-22	2	30	60
ПХ-23	4	30	120
ПХ-31	2	30	60
ПХ-32	4	30	120
ПХ-33	2	30	60
Усього			795

Таблиця 6

Розрахунок необхідної площі теплообміну для підігріву води

Позначення	$t_{\text{води2}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{води1}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{н}}, \text{кВт}$	$F, \text{м}^2$
ПХ-1	100	40	25,56	1563,21	101,91
ПХ-2	100	40	24,60	560,42	37,96
ПХ-4	40	20	43,24	1379,63	53,17
ПХ-22	100	40	52,34	1489,83	47,43
ПХ-23	40	20	24,92	2142,24	143,29
ПХ-31	100	40	30,90	8912,11	480,77
ПХ-32	40	20	37,89	182,62	8,03
ПХ-33	100	40	26,48	6172,12	388,47

Отже, загальна необхідна поверхня теплообміну у випадку використання рекуперативного теплообміну буде складати 1261 м².

5. Обговорення ефективності роботи повітряних холодильників на установці первинної переробки нафти

Попередній аналіз діючої теплової енергетичної установки первинної переробки нафти [10] виявив такий недолік, як скидання тепла через повітряні холодильники при відносно високій температурі близько 60–80 °С в процесі конденсації легких фракцій світлого нафтопродукту [12], після відбензинувальної та атмосферної колон. Потенціал охолоджуваних потоків [13] досить високий і потенційно можливе їх застосування для рекуперації з метою економії витрат теплової енергії, або використовувати їх для теплофікації.

Ефект від використання теплоти, що відводиться в повітряних холодильниках, для теплофікації при вартостях теплової енергії – 543,79 грн/(Гкал/год), а електричної – 1,50 грн/(кВт·год), відповідно до діючих тарифів, складатиме за попередніми розрахунками близько 100млн. грн/рік.

Для повітряних холодильників, у яких робочим середовищем є суміш фракцій різного вуглеводневого складу з водяною парою та вуглеводневим газом, вплив останніх на втрати теплової потужності незначний.

Передбачається проведення подальших досліджень з метою виявлення оптимальних площин поверхонь теплообміну повітряних холодильників та доцільного місця їх інтегрування в технологічну схему установки первинної переробки нафти.

6. Висновки

У результаті проведених досліджень:

– встановлено, що в існуючих схемах установки первинної переробки нафти наявний температурний потенціал повітряних холодильників, який в середньому складає 70–80 °С з тепловою енергією близько 1,5 МВт, а в деяких випадках і більше 5 МВт;

– пропонується використовувати теплоту високо-температурних газів, що виходять з установки первинної переробки нафти, для рекуперативного теплообміну в нових теплообмінних апаратах з площею поверхні 1261 м².

Література

1. Установка атмосферной вакуумной трубки для подготовки та первинної переробки нафти. Пат. 107027 Україна: МПК С10 G7/00 [Текст] / Максимов М. В., Кривда В. І. – заявник та патентовласник Максимов М. В., Кривда В. І. – № а201303011; заяв. 11.03.2013; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21/2014. – 5 с.
2. Saghafifar, M. Innovative inlet air cooling technology for gas turbine power plants using integrated solid desiccant and Maisotsenko cooler [Text] / M. Saghafifar, M. Gadalla // Energy. – 2015. – Vol. 87. – P. 663–677. doi: 10.1016/j.energy.2015.05.035
3. Haijie, Q. Experimental study of the characteristic of frosting on low-temperature air cooler [Text] / Q. Haijie, L. Weizhong, D. Bo, Zh. Zhihai, Zh. Weiyang // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2014. – Vol. 55. – P. 106–114. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2014.02.021

4. Bolotin, S. Comparative analysis of the cross-flow indirect evaporative air coolers [Text] / S. Bolotin, B. Vager, V. Vasilijev // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2015. – Vol. 88. – P. 224–235. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.04.072
5. Anisimov, S. Performance study of the indirect evaporative air cooler and heat recovery exchanger in air conditioning system during the summer and winter operation [Text] / S. Anisimov, D. Pandelidis, A. Jedlikowski // Energy. – 2015. – Vol. 89. – P. 205–225. doi: 10.1016/j.energy.2015.07.070
6. Liu, H. Experimental testing of a small sorption air cooler using composite material made from natural siliceous shale and chloride [Text] / H. Liu, K. Nagano, A. Morita, J. Togawa, M. Nakamura // Applied Thermal Engineering. – 2015. – Vol. 82. – P. 68–81. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.02.060
7. Ou, G. Failure analysis of a reactor effluent air cooler [Text] / G. Ou, K. Wang, J. Zhan, M. Tang, H. Liu, H. Jin // Engineering Failure Analysis. – 2013. – Vol. 31. – P. 387–393. doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.02.025
8. Железный, В. П. Новые структурно-аддитивные методы прогнозирования теплофизических свойств углеводородов [Текст]: сб. науч. статей: / В. П. Железный, А. С. Маркварг; под ред. Б. А. Григорьева // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: в 2 ч. Ч. 1. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. – С. 207–218
9. Wrenick, S. Heat transfer properties of engine oils [Text] / S. Wrenick, P. Sutor, H. Pangilinan, E. E. Schwarz // World Tribology Congress III, 2005 – P. 595–596. doi: 10.1115/wtc2005-64316
10. Максимов, М. В. Определение минимального температурного напора между холодными и горячими потоками для рекуперативных теплообменников ЭЛОУ-АВТ [Текст] / М. В. Максимов, В. И. Кривда // Холодильна техніка і технологія. – 2011. – № 3 (131). – С. 56–62.
11. Salehi, M. Comparison of oil removal in surfactant alternating gas with water alternating gas, water flooding and gas flooding in secondary oil recovery process [Text] / M. Salehi, M. Safarzadeh, E. Sahraei, S. Nejad // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2014. – Vol. 120. – P. 86–93. doi: 10.1016/j.petrol.2014.05.017
12. Li, X. Application of the Neural Decision Tree approach for prediction of petroleum production [Text] / X. Li, C. W. Chan, H. H. Nguyen // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2013. – Vol. 104. – P. 11–16. doi: 10.1016/j.petrol.2013.03.018
13. Sun, K. Experimental and numerical investigations on the eccentric vortex of the cross flow fan [Text] / K. Sun, H. Ouyang, J. Tian, Y. Wu, Z. Du // International Journal of Refrigeration. – 2015. – Vol. 50. – P. 146–155. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2014.10.005