

## УДК 665.63

В.І. Кривда, асп., М.В. Максимов, проф., д-р техн. наук

Одеський національний політехнічний університет

## Зміна локалізації пінча після використання компресорів на установці ЕЛОУ-АВТ

Застосування компресорів на установці ЕЛОУ-АВТ дозволить використати енергію повітряних холодильників за рахунок впровадження рекуперативних теплообмінних апаратів після ректифікаційних колон первинної перегонки нафти, що суттєво заощадить енергетичні та матеріальні ресурси підприємства в цілому. Виявлено зміну локалізації пінча між кривими гарячих та холодних потоків після використання компресорів та зменшення реального температурного напору між кривими до 4 °С.

ЕЛОУ-АВТ, пінч, компресор, холодний потік, гарячий потік, температурний напір

Електрознесолювальна установка – атмосферно вакуумна трубчатка (ЕЛОУ-АВТ) призначена для підготовки та первинної перегонки нафти з метою отримання: зрідженого вуглеводного газу (ВГ), бензинової фракції (БФ), газової фракції (ГФ), дизельної фракції (ДФ), вакуумного газойля (ВГ) та гудрона. Енерготехнологічна схема діючої установки наведена в [1]. В ректифікаційній колоні К-1 відбувається дегазація та попереднє випаровування бензину, а з ректифікаційної колони К-2 відбираються нестабільна бензинова, газова та дизельна фракції, а також мазут. Одним з продуктів переробки є високотемпературний газ, теплова енергія якого не використовується і для виробника вважається як енергетичними так і матеріальними втратами.

Пропонується застосувати додаткові компресорні установки для підвищення температурного потенціалу газів, що відводяться, та використати їх в якості рекуперативного джерела енергії.

Згідно з технологічним циклом робочим газом є пропан – R290, який після ректифікаційної колони К-1 поступає до повітряного холодильника (ПХ-1), а після ректифікаційної колони К-2 до повітряного холодильника (ПХ-2) відповідно. Термодинамічні характеристики R290 визначені з [2, 3] та приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри робочого тіла R290 компресорів

| № точки    | Температура |         | Тиск $p$ , МПа | Питомий об'єм пари $v$ , м <sup>3</sup> /кг | Ентальпія $h$ , кДж/кг | Ентропія $s$ , кДж/кг | Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Ізобарна теплоємність $C_p$ , кДж/кг·К |
|------------|-------------|---------|----------------|---------------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
|            | $t$ , °C    | $T$ , К |                |                                             |                        |                       |                                    |                                        |
| Перед ПХ-1 |             |         |                |                                             |                        |                       |                                    |                                        |
| 1          | 148,2       | 421,2   | 2,8            | 0,0237                                      | 1152,4                 | 6,09                  | 42,188                             | 2,488                                  |
| 2          | 202,0       | 475,0   | 8,0            | 0,0081                                      | 1220,4                 | 6,09                  | 124,00                             | 3,159                                  |
| 3          | 58,0        | 330,0   | 2,8            | 0,0023                                      | 681,4                  | 4,78                  | 440,24                             | 3,172                                  |
| 4          | 62,0        | 335,0   | 8,0            | 0,0022                                      | 690,0                  | 4,78                  | 452,00                             | 2,890                                  |
| Перед ПХ-2 |             |         |                |                                             |                        |                       |                                    |                                        |
| 5          | 123,4       | 396,4   | 0,1            | 0,739                                       | 1140,0                 | 6,60                  | 1,352                              | 2,117                                  |

\* За матеріалами доповіді Міжнародної науково-практичної конференції «Автоматика та енергозберігаючі технології», 17-19 жовтня 2012р. м. Кіровоград

Продовження таблиці -1

|   |       |       |     |       |        |      |       |       |
|---|-------|-------|-----|-------|--------|------|-------|-------|
| 6 | 152,0 | 425,0 | 0,3 | 0,263 | 1203,0 | 6,60 | 3,803 | 2,258 |
| 7 | 66,4  | 339,4 | 0,1 | 0,635 | 1029,9 | 6,36 | 1,576 | 1,875 |
| 8 | 105,0 | 378,0 | 0,3 | 0,235 | 1101,0 | 6,36 | 4,257 | 2,062 |

Робота, яку виконує компресор, визначається за виразом

$$A = \frac{(P_2 - P_1) \cdot v_{сер} \cdot G}{\eta}, \quad (1)$$

де  $P_1, P_2$  – відповідно тиск на початку та в кінці циклу;

$v_{сер}$  – середній питомий об'єм пари за цикл, який визначається так

$$v_{сер} = \sqrt{v_1 \cdot v_2}, \quad (2)$$

де  $v_1, v_2$  – відповідно середній питомий об'єм пари на початку та в кінці циклу;

$G$  – масові витрати хладагенту R290;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії компресора, приймається 0,75.

Потокова теплоємність визначається згідно [4], тобто

$$CP = \frac{H}{\Delta t}, \quad (3)$$

де  $\Delta t$  – різниця температур в потоці;

$H$  – теплова потужність потоку, що визначається як

$$H = G \cdot \Delta h, \quad (4)$$

де  $\Delta h$  – різниця ентальпій в потоці.

Користуючись виразами (1-4) були виконані розрахунки, результати яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку потужностей компресорів

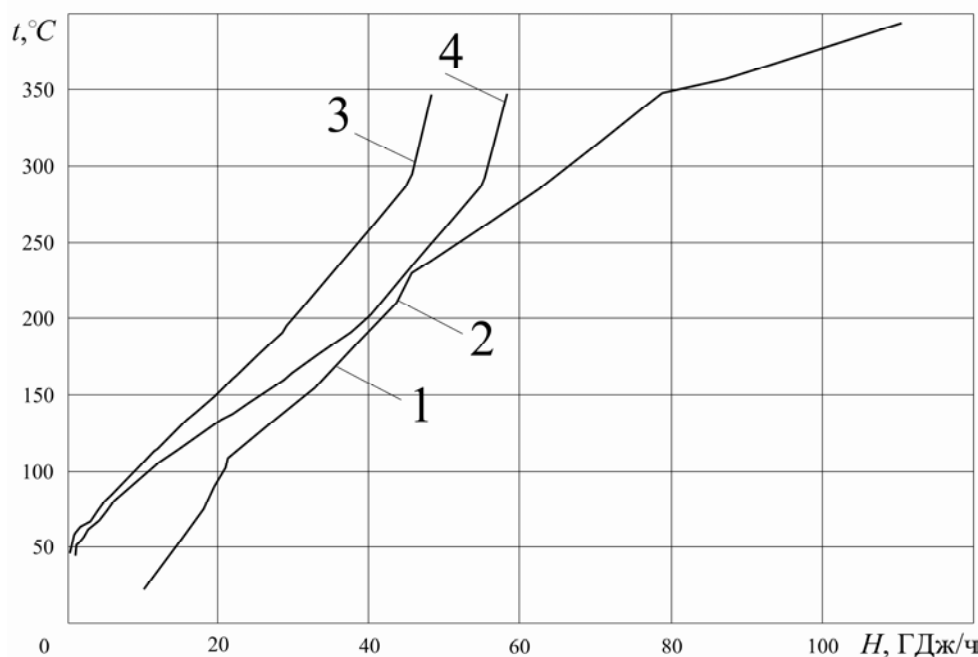
| № потоку   | Масові витрати $G$ ,<br>кг/с | Середній питомий<br>об'єм пари $v_{сер}$ ,<br>м <sup>3</sup> /кг | Робота $A$ ,<br>кВт | Потокова теплоємність<br>$CP$ ,<br>кВт/К |
|------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|
| Перед ПХ-1 |                              |                                                                  |                     |                                          |
| 1-2        | 14,54                        | 0,01380                                                          | 1391,2              | 25,76                                    |
| 3-4        | 14,54                        | 0,00224                                                          | 226,0               | 56,50                                    |
| Перед ПХ-2 |                              |                                                                  |                     |                                          |
| 5-6        | 13,87                        | 0,441                                                            | 1631,0              | 57,03                                    |
| 7-8        | 13,87                        | 0,386                                                            | 1428,0              | 37,00                                    |

Для досліджуваної схеми установки ЕЛОУ-АВТ [1] були отримані потокові дані холодних та гарячих потоків [5]. Після використання компресорів в зазначених місцях отримано результати, які приведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Потокові дані технологічних потоків після використання компресорів

| №  | Назва потоку          | Тип | $T_s, ^\circ\text{C}$ | $T_T, ^\circ\text{C}$ | $r, \text{кДж/кг}$ | $CP, \text{кВт/К}$ | $\Delta H, \text{кВт}$ |
|----|-----------------------|-----|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 1  | УДФ Т-1/1,2           | гар | 160,0                 | 73,2                  |                    | 39,8               | 3448,5                 |
|    | УДФ ПХ-31             | гар | 73,2                  | 63,0                  |                    | 35,2               | 362,3                  |
| 2  | ДФ Т-6/1-6            | гар | 286,3                 | 176,0                 |                    | 71,6               | 7895,8                 |
|    | ДФ Т-2/1-3            | гар | 176,0                 | 133,1                 |                    | 61,4               | 2637,2                 |
|    | ДФ ПХ-23/1,2          | гар | 137,6                 | 58,0                  |                    | 36,8               | 2927,1                 |
| 3  | ГФ Т-3/1-3            | гар | 190,4                 | 112,9                 |                    | 64,9               | 5033,3                 |
|    | ГФ ПХ-22              | гар | 112,9                 | 57,6                  |                    | 55,4               | 3060,8                 |
| 4  | ВГ Т-5/1-5            | гар | 291,6                 | 195,0                 |                    | 52,4               | 5061,9                 |
|    | ВГ Т-1/3-6            | гар | 195,0                 | 114,1                 |                    | 44,2               | 3575,6                 |
|    | ВГ ПХ-32/1,2          | гар | 114,1                 | 79,6                  |                    | 38,9               | 1343,9                 |
| 5  | Гудрон Т-4            | гар | 346,6                 | 162,6                 |                    | 56,4               | 10382,5                |
|    | Гудрон ПХ-33/1,2      | гар | 162,7                 | 83,3                  |                    | 12,1               | 960,6                  |
| 6  | Бензин ПХ-1/1,2+Х-1   | гар | 202,0                 | 62,0                  |                    | 21,7               | 3036,8                 |
|    |                       | гар | 62,0                  | 62,0                  | 342,3              |                    | 342,3                  |
|    |                       | гар | 62,0                  | 49,0                  |                    | 27,3               | 354,5                  |
| 7  | Бензин Х-2+С-2        | гар | 152,0                 | 105,0                 |                    | 17,4               | 819,8                  |
|    |                       | гар | 105,0                 | 105,0                 | 329,2              |                    | 329,2                  |
|    |                       | гар | 105,0                 | 83,0                  |                    | 46,2               | 1016,0                 |
| 8  | Пропан ПХ-1           | гар | 202                   | 62                    |                    | 45,94              | 6432,06                |
| 9  | Пропан ПХ-2           | гар | 152                   | 105                   |                    | 31,31              | 1471,61                |
| 10 | Нафта Т-1/1,2         | хол | 22,0                  | 90,0                  |                    | 49,3               | 3352,4                 |
| 11 | Нафта Т-1/3-6         | хол | 90,0                  | 155,0                 |                    | 58,1               | 3774,9                 |
| 12 | Нафта Т-2/1-3         | хол | 22,0                  | 75,0                  |                    | 46,7               | 2475,0                 |
| 13 | Нафта Т-3/1-3         | хол | 22,0                  | 103,0                 |                    | 59,3               | 4800,5                 |
| 14 | Нафта Т-4             | хол | 108,2                 | 211,5                 |                    | 92,7               | 9571,7                 |
| 15 | Нафта Т-5/1-5         | хол | 108,2                 | 286,4                 |                    | 45,9               | 8182,0                 |
| 16 | Нафта Т-6/1-6         | хол | 108,2                 | 237,2                 |                    | 63,0               | 8126,7                 |
| 17 | Нафта піч П-1/2+П-1/1 | хол | 229,8                 | 358,1                 |                    | 270,4              | 34672,0                |
| 18 | Мазут піч П-2         | хол | 348,8                 | 394,4                 |                    | 671,7              | 30628,2                |

На рис.1 наведено криві холодних та гарячих потоків без застосування компресорів та з ними відповідно. Криві побудовані згідно методу пінч-аналіза [4].



1 – крива холодних потоків без використання компресорів; 2- крива холодних потоків після використання компресорів; 3- крива гарячих потоків без використання компресорів; 4- крива гарячих потоків після використання компресорів

Рисунок 1 – Спільне розташування кривих холодних та гарячих потоків

Як видно з рис. 1 криві холодних потоків без застосування компресора (крива 1) та з компресором (крива 2) майже співпадають. Після застосування компресорів реальний температурний напір між кривими гарячих та холодних потоків змінив свою локалізацію та зменшився до 4 °C. За допомогою алгоритма табличної задачі [4] було визначено оптимальний температурний напір між цими кривими, де в якості критерію оптимальності приймалися приведені витрати (табл. 4), а саме приведені капітальні витрати мережі ( $ПКВ_{\text{мережі}}$ ), вартість затраченої енергії ( $E$ ) та приведені розрахункові витрати мережі ( $ПРВ_{\text{мережі}}$ ).

Таблиця 4 – Вплив мінімального температурного напору на приведені витрати при застосуванні компресорів на К-1 та К-2

| $\Delta t_{\text{min}}$ ,<br>°C | $Q_{\text{гор}}$ ,<br>МВт | $Q_{\text{хол}}$ , МВт | $ПКВ_{\text{мережі}}$ ,<br>$10^3 \text{ у.о.}$ | $E$ ,<br>$10^3 \text{ у.о.}$ | $ПРВ_{\text{мережі}}$ ,<br>$10^3 \text{ у.о.}$ |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| 50                              | 63,8                      | 17,5                   | 0,96                                           | 6,23                         | 7,191                                          |
| 40                              | 61,7                      | 15,6                   | 1,11                                           | 6,01                         | 7,120                                          |
| 30                              | 59,9                      | 15,6                   | 1,38                                           | 5,84                         | 7,225                                          |
| 20                              | 58,1                      | 12,34                  | 1,86                                           | 5,64                         | 7,499                                          |
| 10                              | 56,3                      | 10,67                  | 3,36                                           | 5,45                         | 8,816                                          |
| 6                               | 55,6                      | 9,80                   | 5,36                                           | 5,37                         | 10,731                                         |
| 4                               | 55,2                      | 9,4                    | 7,85                                           | 5,34                         | 13,191                                         |

Згідно з отриманими результатами (табл. 4) оптимальним температурним напором є 40 °C, що передбачає розробку нової енерготехнологічної схеми установки

ЕЛОУ-АВТ з використанням рекуперативних теплообмінних апаратів. Це дозволить оптимізувати виробництво первинної перегонки нафти та суттєво заощадити енергетичні та матеріальні ресурси виробника в цілому.

### Список літератури

1. Максимов М.В., Крывда В.И. Определение минимального температурного напора между холодными и горячими потоками для рекуперативных теплообменников ЭЛОУ-АВТ/ Холодильна техніка і технологія. – 2011. – №3(131). – С.56-62.
2. Сычев В.В. Термодинамические свойства пропана / Сычев В.В., Вассерман А.А. и др.. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 268 с.
3. Васьков Е.Т. Термодинамические основы тепловых насосов / СПб. гос. архит.-строит. ун-т.– СПб., 2007. – 127с .
4. Смит Р., Клемеш И., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: НТУУ «ХПИ», 2000. – 458 с.
5. Максимов М.В., Крывда В.И. Реконструкция установки ЭЛОУ-АВТ на основе оптимизации холодных и горячих потоков. – Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2011. - №4, - С. 10-16.

*В. Крывда, М. Максимов*

#### **Изменение локализации пинча после использования компрессоров на установке ЭЛОУ-АВТ**

Применение компрессоров на установке ЭЛОУ-АВТ позволяет использовать энергию воздушных холодильников за счет внедрения рекуперативных теплообменных аппаратов после ректификационных колон первичной перегонки нефти, что существенно сэкономит энергетические и материальные ресурсы предприятия в целом. Выявлено изменение локализации пинча между кривыми горячих и холодных потоков после использования компрессоров и уменьшение реального температурного напора между кривыми до 4 °С.

*V. Kryvda, M. Maksimov*

#### **Localization change pinch after use of compressors on installation ELOU-AVT**

Use compressors on installation ELOU-AVT allows to use energy of air coolers at the expense introduction recuperative heat exchange devices after rectifying Colon primary distillation of naphtha that the entity will save energy and material resources of the enterprise as a whole. Localization change pinch between curves of hot and cold streams after use of compressors and decrease a substantial temperature pressure between curves to 4 °C is revealed.

Одержано 13.09.12