

Миронов А.М., к.техн.н., Ільченко М.В., к.техн.н.

**ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОЇ СИСТЕМИ БЛОКУ СТАБІЛІЗАЦІЇ
ГІДРОГЕНІЗАТУ НА УСТАНОВЦІ ЛЕГКОГО ГІДРОКРЕКІНГУ***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

Ключові слова: інтеграція процесів, пінч-аналіз, пінч-технології, рекуперація, складові криві, сіткова діаграма, гідрогенізація, гідрокрекінг.

Питання підвищення енергоефективності виробництв в Україні щороку стає дедалі більш актуальним. Ці тенденції одночасно викликають інтерес й у держави, й у власників підприємств, які втрачають прибутки через надмірні витрати на енергоносії. Хімічні та переробні галузі відчувають найбільший тиск з боку високих тарифів через великі обсяги закупівлі палив на теплоносії. До того ж сама робота підприємств призводить до вкрай несприятливого впливу на навколишнє природне середовище через значні об'єми прямих викидів забруднюючих речовин, парникових газів, відходів виробництва та просто теплової емісії. Забезпечити дійсно раціональне використання ресурсів та скоротити шкідливу дію хімічних виробництв можна лише на основі всебічного аналізу та оптимізації хіміко-технологічних систем (ХТС), які покладені до їхньої основи [1, 2].

Серед відомих способів промислової економії ресурсів слід назвати інтеграцію процесів – насамперед, як інструмент модернізації теплообмінних систем виробництв. Її методи дозволяють суттєво зменшити долю зовнішніх енергоносіїв у підсистемах та збільшити рекуперацію без жодного впливу на виробничу технологію. Зокрема, йдеться про проектування енергоефективних мереж теплообміну з використанням методу пінч-аналізу. Стосовно до ректифікаційних установок проблема раціонального використання тепла є надзвичайно важливою, оскільки наразі енергія здебільшого використовується не у оптимальному режимі. Питання про правильний вибір теплової схеми установки зазвичай вирішується на основі теплового балансу, оскільки це має істотне економічне значення, особливо для установок безперервної дії на багатотоннажних виробництвах. Тому саме оптимізація використання енергії та підвищення її рекуперації за рахунок внутрішніх ресурсів системи є головною задачею сучасного проектування подібних установок [3, 4].

Досвідчені проектувальники з країн Західної Європи дійшли висновку, що аби уникнути недоліків та труднощів, а також досягти бажаного результату при синтезі оптимальної структури ХТС необхідно використовувати методи, які мають наступні специфічні властивості: можливість знаходження альтернативних структур у районі оптимуму, мінімальний обсяг необхідної для роботи початкової інформації, можливість врахування якісно різних вимог до глобальних параметрів виробництва, оперування простими структурами, можливість діалогу між проектувальником та обчислювальною машиною, можливість легкого додавання особистого досвіду проектувальника до наявного алгоритму, перспектива застосування для вирішення великих промислових завдань та масштабування проектів [5]. Усе це досить чітко втілює метод пінч-аналізу, який був обраний у якості базового для даної роботи. Надзвичайно важливим є те, що він вже на початкових стадіях дослідження дозволяє оцінити доступний потенціал ене-

розрахунку процесу та перебачити заходи для досягнення найефективніших енергетичних цілей [6, 7].

Метою представленої роботи є аналіз енергоспоживання та теплоенергетична інтеграція теплообмінної системи блоку стабілізації гідрогенізату на установці легкого гідрокрекінгу задля збільшення рекуперації тепла у системі та скорочення потужностей зовнішніх утиліт.

Для початку роботи необхідно здійснити детальний аналіз процесу та скласти таблицю потоків, які можуть приймати участь у тепловій інтеграції [8, 9]. Спрощена функціональна енерготехнологічна схема виробництва представлена на рис. 1.

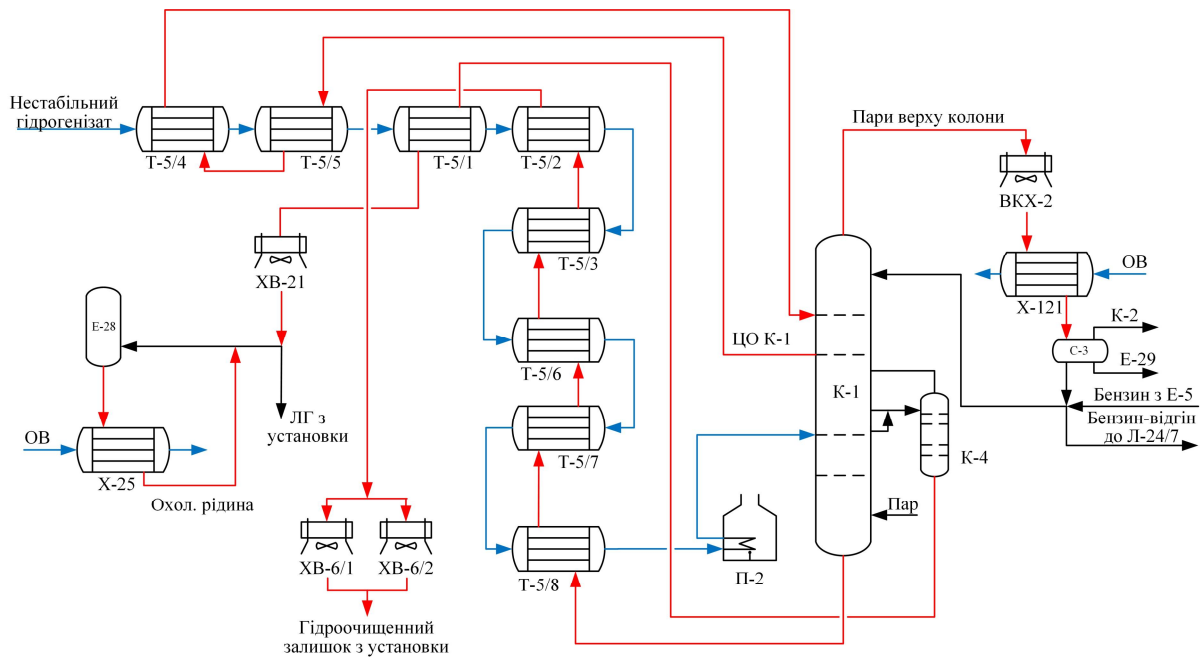


Рисунок 1 – Функціональна енерготехнологічна схема блоку стабілізації гідрогенізату на установці легкого гідрокрекінгу

Технологічний процес відбувається наступним чином. Нестабільний гідрогеніза́т з сепаратора низького тиску С-102 послідовно прокачується через теплообмінники Т-5/4, Т-5/5, Т-5/1, Т-5/2, Т-5/3, Т-5/6, Т-5/7, Т-5/8 та піч П-2. З печі П-2 нестабільний гідрогеніза́т надходить до зони живлення стабілізаційної колони К-1 (тарілка № 22). У колоні К-1 відбувається відпарювання розчинених газів, сірководню з нестабільного гідрогенізату та його поділ на легкий газойль (ЛГК), бензин-відгін та гідроочищений залишок.

Для відпарювання легких фракцій та зниження температури куба колони передбачена подача перегрітої водяної пари. З верху колони К-1 пари бензину, води і вуглеводневий газ надходить шлемовою лінією у повітряний холодильник-конденсатор ВХК-2, де вони конденсуються та охолоджуються. З повітряного холодильника-конденсатора ВХК-2 продукт надходить до водяного холодильника Х-21, де охолоджується та далі спрямовується до сепаратору бензину С-3. У сепараторі бензину С-3 відбувається поділ вуглеводневого газу, бензину та води.

Частина бензин-відгону у якості зрошення подається в колону К-1, балансна кількість бензин-відгону виводиться на установку Л-24/7 або ЕЛОУ-АВТ-6. Бензин-відгін виводиться з установки. Температурний режим верху колони К-1 забезпечується подачею гострого зрошення, у якості якого використовується частина бензинової фрак-

Додаткову інформацію можна отримати за допомогою побудови складових кривих процесу – рис. 3.

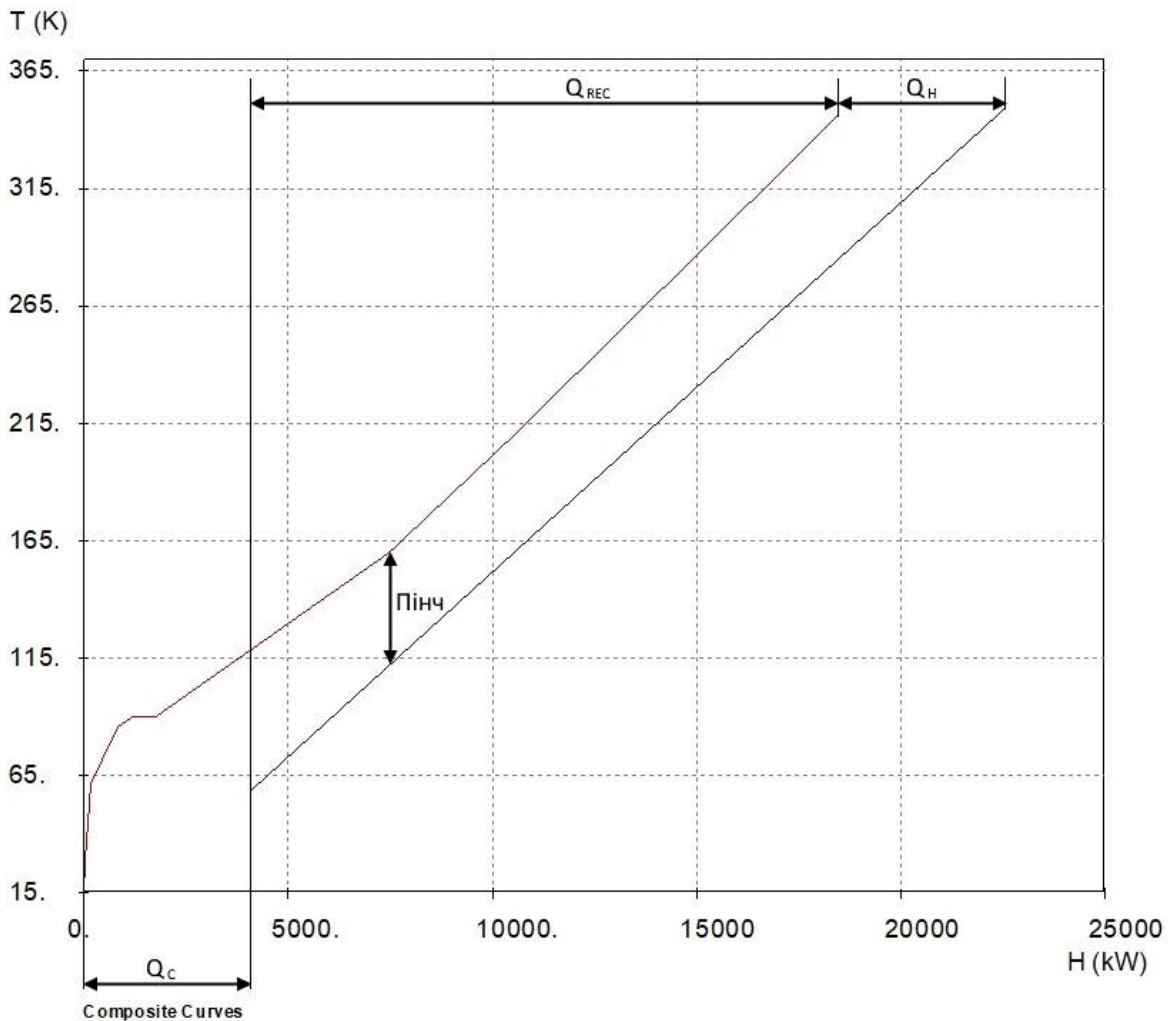


Рисунок 3 – Складові криві існуючого процесу

З рисунку 3 видно, що у системі наявна рекуперация величиною $\sim 14421,07$ кВт, гарячі утиліти становлять $Q_{Cmin}=4078,89$ кВт, а холодні складають $Q_{Cmin}=4042,17$ кВт. Пінч локалізується на наступних температурах: $T_{гар}=160$ °С та $T_{хол}=112$ °С. Різниця температур у області пінчу дорівнює 48°С.

Наведене значення ΔT_{min} не є оптимальним – у системі присутній перехресний теплообмін, тобто відбувається переніс теплової енергії через пінч, через що на теплообмінних апаратах Т-5/1 та Т-5/2 спостерігаються різниці температур між теплоносіями, менші за 48 °С. Досягти оптимальних цільових значень можна за допомогою зменшення ΔT_{min} та зміни топології теплообмінної мережі [10, 11].

За допомогою програмного забезпечення «PINCH» отримане нове значення мінімальної різниці температур $\Delta T_{min}=15$ °С [12]. Складові криві для вказаної величини подані на рис. 4. З нього видно, що пінч локалізується на температурах 160 °С та 145 °С. При цьому величина гарячих утиліт становить близько 1980,95 кВт, а холодних – біля 1944,23 кВт. Рекуперация складає 16519,01 кВт.

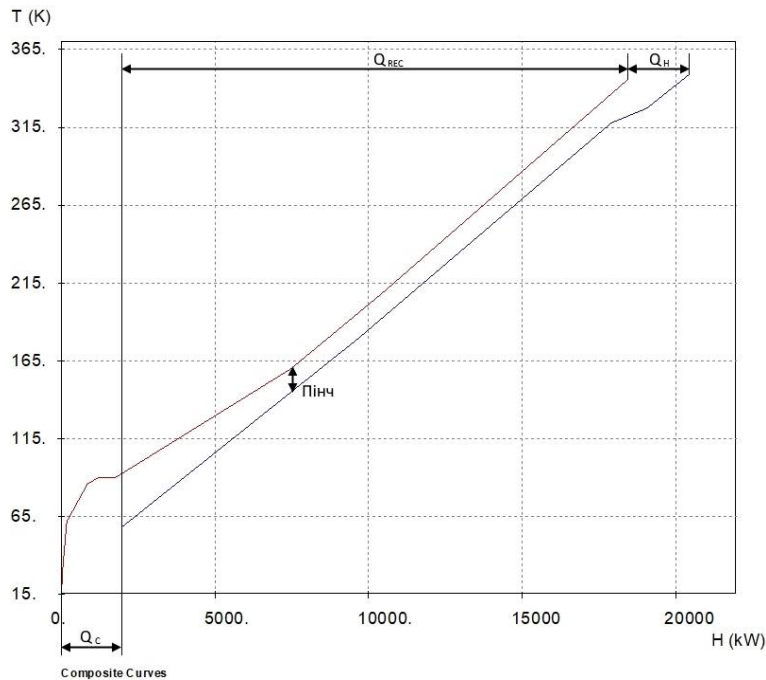


Рисунок 4 – Складові криві для інтегрованого процесу

Знаючи обидві пінч-температури та значення ΔT_{\min} , можна умовно розділити теплообмінну систему на дві підсистеми – вище та нижче пінча. У кожній з них розстановка нових рекуперативних та утилітних теплообмінників має відбуватися окремо: таким чином унеможлиблюється переніс теплової енергії через пінч та досягається ізоляція ділянок потоків, які знаходяться з певного боку від лінії розмежування.

Після низки побудов, розщеплень технологічних потоків за N- та CP-правилами [9, 10], обидві підсистеми поєднані у сіткову діаграму інтегрованого процесу – рис. 5.

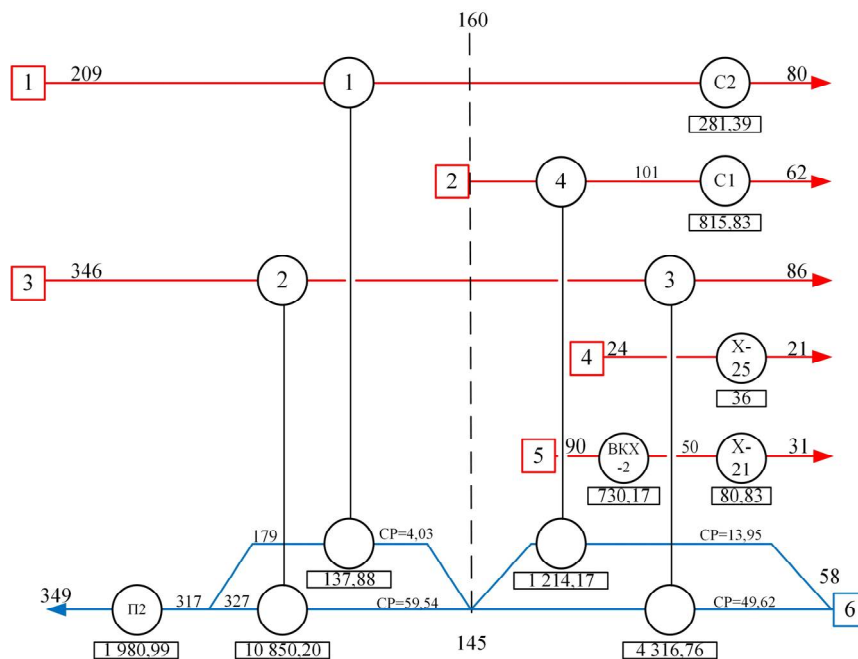


Рисунок 5 – Сіткова діаграма інтегрованого процесу

З розрахунків відомо, що у результаті інтеграції рекуперація теплової енергії у розглянутій теплообмінній системі збільшилася на 2097,94 кВт, а кожна з утиліт зменшилася на ту саму величину. Детальне порівняння енергетичних характеристик наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння енергетичних характеристик існуючої та інтегрованої мереж

Технологічна схема	Гарячі утиліти, кВт	Холодні утиліти, кВт	Рекуперація, кВт
Існуюча	4078,89	4042,17	14421,07
Інтегрована	1980,95	1944,23	16519,01

На основі наведених розрахункових даних спроектовано принципову схему теплообмінної системи блоку стабілізації гідрогенізу на установці легкого гідрокрекінгу – рис. 6. У ній наявні чотири нових рекуперативних теплообмінника, три нових утилітних, а також збережено три старих апарати охолодження.

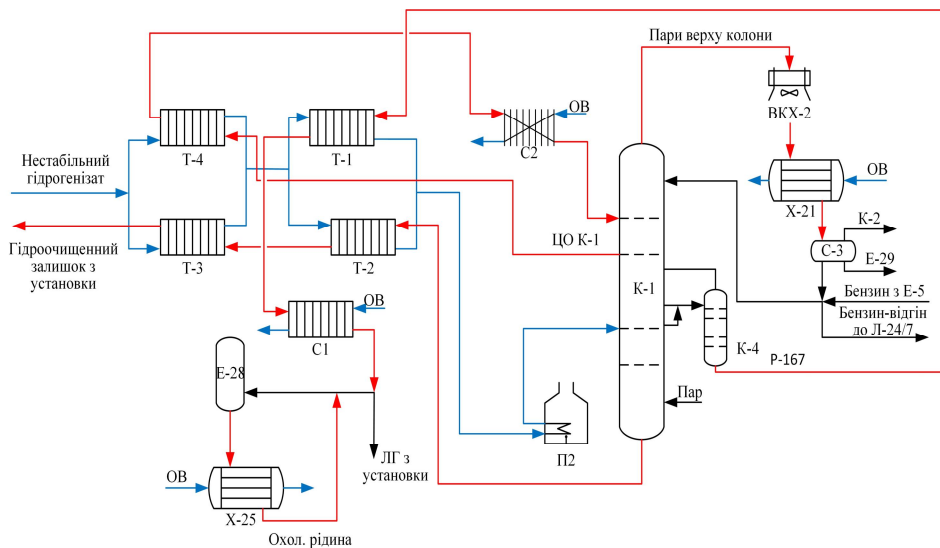


Рисунок 6 – Принципова схема проекту інтеграції системи теплообміну

Висновки

У роботі проаналізовано ефективність енергоспоживання у теплообмінній системі блоку стабілізації гідрогенізу на установці легкого гідрокрекінгу, визначено потенціал енергозбереженні мережі та спроектовано нову принципову схему, отриману із застосуванням заходів рекуперації технологічних потоків. Для мінімальної різниці температур 15°C величина доступної рекуперації становитиме 16,52 МВт. При цьому обсяг необхідних для здійснення роботи підприємства теплоносіїв обох типів може бути зменшений на 51,5% від початкового значення.

Література

1. Tovazhyanskyu L.L. Application of process integration for energy saving and pollution reduction in Ukraine / L.L. Tovazhyanskyu, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev et al. // Buda-

pest: PRES'99 Proceedings, ed. by F. Friedler and J. Klemes (Hungarian Chemical Society) – 1999. – PP. 659–664.

2. Renewable Energy: A Global Review of Technologies, Policies and Markets / Edited by D. Abmann, U. Laumanns and D. Uh – UK-US: Earthscan (Taylor & Francis), 2006. – 320 p.

3. Rodera N. A methodology for improving heat exchanger network operation / N. Rodera, D.L. Westphalen, H.K. Shethna // Applied thermal engineering – 2003. – № 23. – PP. 1729–1741.

4. Gundersen T. The synthesis of cost optimal heat exchanger networks. An industrial review of the state of the art / T. Gundersen, L. Naess // Computer & Chemical Engineering – 1988. – № 12(6). – PP. 503–530.

5. Minimum utility usage in constrained heat exchanger networks. A transportation problem / J. Cerda, A. W. Westerberg, D. Mason et al. // Chemical Engineering Sciences – 1983. – № 38(3) – PP. 373–387.

6. Kapustenko P.O. Integration processes of benzene-toluene-xylene fraction, hydrogenation, hydrodesulphurization and hydrothermoprocessing on installation of benzene unit / P.O. Kapustenko, L.M. Ulyev, M.V. Ilchenko, O.P. Arsenyeva // Chemical Engineering Transactions – 2015. – Vol. 45. – PP. 235–240.

7. Morgan S. Use process integration to improve process designs and the design process / S. Morgan // Chemical engineering progress – 1992. – № 9. – P. 62–68.

8. Linnhoff B. Synthesis of heat exchanger networks: Part I. Systematic generation of energy optimal networks / B. Linnhoff, J. R. Flower // American Institute of Chemical Engineers Journal (AIChE Journal), 1978. – № 24 (4). – PP. 633–642.

9. Linnhoff B. Synthesis of heat exchanger networks: Part II: Evolutionary generation of networks with various criteria of optimality / B. Linnhoff B., J. R. Flower // American Institute of Chemical Engineers Journal (AIChE Journal), 1978. – № 24 (4). – PP. 642–654.

10. Moodley A. Development of a unified mass and heat integration framework for sustainable design. An automated approach / A. Moodley, T. Majozi // Chemical Engineering Transactions – 2005. – № 7. – PP. 465–470.

11. Taal M. Cost estimation and energy price forecasts for economic evaluation of retrofit projects / M. Taal, I. Bulatov, J. Klemes et al. // Applied Thermal Engineering – 2003. – № 23. – PP. 1819–1835.

12. Klemes J. Total Sites integrating renewables with extended heat transfer and recovery / J. Klemes, P. Varbanov // Heat Transfer Engineering – 2010. – № 31(9). – PP. 733–741.

УДК 66.045.12

Миронов А.М., Ільченко М.В.

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОЇ СИСТЕМИ БЛОКУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГІДРОГЕНІЗАТУ НА УСТАНОВЦІ ЛЕГКОГО ГІДРОКРЕКІНГУ

Роботу присвячено дослідженню теплообмінної системи блоку стабілізації гідрогенізату на установці легкого гідрокрекінгу задля визначення ступеню ефективності теплообміну та величини доступного потенціалу енергозбереження, а також для побудови модернізованої мережі теплообмінників технологічного процесу. У якості базового розрахунково-проектувального методу використаний пінч-аналіз. Для існуючої схе-

ми побудовано складові криві технологічних потоків та сіткову діаграму, визначено локалізацію пінча та наявну мінімальну різницю температур ΔT_{\min} . Для нового значення ΔT_{\min} розраховано можливу рекуперацію та величини холодних і гарячих утиліт, побудовано сіткову діаграму та принципову технологічну схему системи теплообміну процесу. Досягнену економію первинних енергоресурсів оцінено у 2,1 МВт, що складає близько 51,5% від початкового значення енергії зовнішніх теплоносіїв процесу.

Ключові слова: інтеграція процесів, пінч-аналіз, пінч-технології, рекуперація, складові криві, сіткова діаграма, гідрогенізат, гідрокрекінг.

Миронов А.Н., Ильченко М.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕНА УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИНЧ-ТЕХНОЛОГИЙ

Работа посвящена исследованию теплообменной системы блока стабилизации гидрогенизата на установке лёгкого гидрокрекинга для определения степени эффективности теплообмена и величины доступного потенциала энергосбережения, а также для построения модернизированной сети теплообменников технологического процесса. В качестве базового расчётно-проектировочного метода использован пинч-анализ. Для существующей схемы построены составные кривые технологических потоков и сеточная диаграмма, определены локализация пинча и имеющаяся минимальная разность температур ΔT_{\min} . Для нового значения ΔT_{\min} рассчитана возможная рекуперация и величины холодных и горячих утилит, построена сеточная диаграмма и принципиальная технологическая схема системы теплообмена процесса. Достигнутая экономия первичных энергоресурсов оценена в 2,1 МВт, что составляет около 51,5 % от начального значения энергии внешних теплоносителей процесса.

Ключевые слова: интеграция процессов, пинч-анализ, пинч-технологии, рекуперация, составные кривые, сеточная диаграмма, гидрогенизат, гидрокрекинг.

Myronov A.M., Ilchenko M.V.

INTEGRATION OF THE HYDROGENATE STABILIZATION UNIT HEAT EXCHANGE SYSTEM AT THE INSTALLATION OF LIGHT HYDROCRACKING

The work is devoted to the research of the heat exchanger system of the hydrogenation stabilizer unit at the installation of light hydrocracking in order to determine the degree of efficiency of heat exchange and the magnitude of the available energy saving potential, as well as to build a modernized network of heat exchangers of the technological process. Pinch analysis was used as the basic calculation and design method. The process composite curves and the grid diagram are constructed, pinch localization and the minimum temperature difference ΔT_{\min} are determined for the existing scheme. For the new value of ΔT_{\min} , the possible recovery and magnitudes of cold and hot utilities were calculated, a grid diagram and composite curves of the process heat transfer system were constructed. The achieved primary energy savings are estimated at 2.1 MW, which is about 51.5% of the initial energy value of the process's external coolants.

Keywords: process integration, pinch analysis, pinch technology, recuperation, component curves, grid diagram, hydrogenate, hydrocracking.