

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ШЕЙКУС Антон Романович

УДК 66.012-52:66.048.3

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИМИ СТАТИЧНИМИ
РЕЖИМАМИ ПРОЦЕСІВ РЕКТИФІКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ РУХЛИВИХ
КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ

Спеціальність 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації Державного ВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Тришкін Владислав Якович,
доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих
технологій та автоматизації
ДВНЗ «Український державний хіміко-
технологічний університет» (м. Дніпро)
Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Куваєв Володимир Миколайович,
професор кафедри програмного забезпечення
комп'ютерних систем
НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)
Міністерства освіти і науки України;

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Хорошилов Сергій Вікторович,
провідний науковий співробітник
відділу системного аналізу та проблем управління
Інституту технічної механіки (м. Дніпро)
Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України.

Захист дисертації відбудеться «28» лютого 2019 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при НТУ «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці НТУ «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розіслано «25» січня 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.080.07,
доктор технічних наук, професор

В.І. Корнієнко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значна кількість виробничих процесів у багатьох галузях промисловості включає в себе процес ректифікації, що використовується для поділу однорідних рідинних сумішей на різних стадіях переробки сировини. До 30% всіх енерговитрат хімічних і нафтопереробних підприємств припадає на процеси ректифікації, що становить 3% всієї споживаної енергії. Високі експлуатаційні витрати, які перевищують капітальні, визначають те, що енергозбереження та ефективність ректифікації значною мірою залежить від ефективності керування даним процесом.

Внаслідок високої інерційності ректифікаційних колон основну складову економічного ефекту від впровадження систем керування дає статична оптимізація процесу ректифікації, проте в більшості запропонованих варіантів розв'язання задачі керуючі впливи на процес наносяться традиційним способом – шляхом зміни матеріальних або енергетичних потоків, що надходять в установку. При управлінні таким істотно розподіленим об'єктом це не дозволяє розкрити всі його потенційні можливості.

В останні роки для об'єктів з розподіленими параметрами успішно застосовують системи рухливого керування. Серед досліджень і публікацій, присвячених даній проблемі, можливо виділити роботи таких вчених, як Б. М. Дев'ятов, А. Г. Бутковський, В. О. Кубишкін, А. П. Алпатов, С. В. Хорошилов, Е. Я. Рапопорт, F. G. Shinskey. Основи розподіленої, рухливої статичної оптимізації процесу ректифікації розглянуто в роботах С. D. Holland, В. Я. Тришкіна і В. І. Корсуна.

Поява нового ступеня свободи – можливості вибору закону руху в просторі джерел речовини і енергії – дає позитивний ефект. Однак досліджено процес бінарної ректифікації, в той час, як більшість сумішей, що поділяються на виробництві, багатокомпонентні, розглянуто лише статичні режими роботи колони і дискретні рухливі впливи, а застосований математичний апарат містив припущення, неприйнятні при моделюванні процесу поділу багатокомпонентних сумішей.

Таким чином, розробка методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів, а також удосконалення математичної моделі і алгоритмів, необхідних для його реалізації, є актуальним науковим завданням. Його вирішення дозволить підвищити ефективність процесу і забезпечити недосяжні традиційним керуванням режими роботи колони.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрямок досліджень є складовою частиною тематичного плану науково-дослідних робіт ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» на тему «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованих систем управління (КІСУ)» (номер держреєстрації 0111U008143).

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи – підвищення продуктивності і енергоефективності ректифікаційних колон шляхом розробки методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами

процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів і адаптованої математичної моделі.

Досягнення мети передбачає вирішення наступних задач:

1. Розробка математичної моделі процесу багатокомпонентної ректифікації, що дозволяє досліджувати дискретні і неперервні рухливі керуючі впливи на процес, статичні режими, які при цьому досягаються.

2. Модифікація ітераційного методу розрахунку статичних характеристик процесу багатокомпонентної ректифікації з метою скорочення витрат часу, необхідних на пошук вирішення.

3. Розробка методики параметричної ідентифікації, що ставить результати моделювання у відповідність експериментальним даним.

4. Дослідження статичних характеристик процесу ректифікації при застосуванні дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів.

5. Розробка методу статичної оптимізації процесу ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів.

6. Визначення законів переміщення точки нанесення рухливого керуючого впливу при зміні умов ведення процесу і доведення ефективності використання рухливих керуючих впливів при статичній оптимізації процесів ректифікації.

7. Розробка методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів.

8. Дослідження перехідних режимів роботи колони при застосуванні оптимальних традиційних і рухливих керуючих впливів на процес згідно з розробленим методом керування.

Об'єкт дослідження – методи автоматичного керування процесами ректифікації.

Предмет дослідження – метод автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих впливів.

Методи досліджень. Методи математичного моделювання для побудови математичної моделі процесу ректифікації; методи простих ітерацій, Ньютона, інтерполяції, січних для ітераційного чисельного вирішення систем нелінійних рівнянь при розрахунках контактного пристрою апарату, параметричній ідентифікації математичної моделі, вирішенні оптимізаційних задач; θ -метод збіжності ітераційних розрахунків статичних характеристик процесу ректифікації; методи теорії розчинів при моделюванні умов фазової рівноваги в багатокомпонентних рідинних сумішах; методи імітаційного моделювання для дослідження статичних і динамічних режимів роботи ректифікаційних колон при застосуванні рухливих керуючих впливів; метод сканування при розрахунках оптимальних значень рухливих керуючих впливів.

Наукові положення, які виносяться на захист.

– Застосування при керуванні процесом багатокомпонентної ректифікації рухливих керуючих впливів, які полягають в змінах точок введення сировини в колону та співвідношення витрат потоків живлення,

дозволяє підвищити продуктивність і енергоефективність ректифікаційних колон.

– Залежність нормалізованого критерію оптимізації від величин дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів носить екстремальний характер, що доводить існування і однозначність вирішення завдання статичної оптимізації процесів ректифікації та ефективність такого підходу.

Наукові результати та їх новизна.

1. Вдосконалено математичну модель процесу багатокomпонентної ректифікації шляхом введення додаткових незалежних змінних – коефіцієнтів перерозподілу живлення і флегми, що дозволяє досліджувати ефективність неперервних і дискретних рухливих керуючих впливів, розраховувати оптимальні статичні режими роботи колон і оптимальні величини рухливих керуючих впливів, які їх забезпечують.

2. Вперше запропоновано модифікований θ -метод розрахунку статичних характеристик процесу ректифікації, відмінність якого полягає у використанні степеневі функції залежності від коефіцієнта θ , і який дозволяє істотно знизити витрати часу, необхідні на пошук вирішення.

3. Вперше доведено на прикладах критеріїв максимізації продуктивності і мінімізації енерговитрат екстремальну залежність нормалізованого критерію оптимізації від величин дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів, з чого випливає існування і однозначність вирішення задачі статичної оптимізації процесів ректифікації.

4. Розроблено метод автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів, який дозволяє підвищити продуктивність і енергоефективність процесу і полягає в: ідентифікації параметрів прогнозуючої математичної моделі з використанням вимірювальної інформації щодо поточних показників процесу і температурного профілю установки; стабілізації тиску наверху колони, рівнів в ємностях для збору дистилату і кубового продукту; розрахунках керуючим пристроєм оптимальних за нормалізованим критерієм значень рухливих і традиційних керуючих впливів; їх застосуванням шляхом впливів на виконавчі пристрої на лініях подачі потоків живлення, зрошування в колону і теплоносія в випарник.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено алгоритми розрахунку статичних характеристик і оптимізації процесу багатокomпонентної ректифікації, що дозволяють реалізувати розроблений метод автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів.

2. Запропонований метод автоматичного керування придатний при побудові оптимальних систем статичної оптимізації процесів багатокomпонентної ректифікації, систем оптимального рухливого керування ректифікаційними колонами; методи статичної оптимізації можуть застосовуватись для процесів складної ректифікації.

3. В результаті імітаційних досліджень встановлено, що запропонований метод статичної оптимізації процесу багатокomпонентної ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів дозволяє підвищити вихід цільового продукту до 5% і, одночасно з цим, знизити теплові витрати в випарнику куба до 8%.

4. Матеріали дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» при викладанні дисципліни «Моделювання та оптимізація технологічних процесів» студентам V курсу спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Особистий внесок здобувача. Наукові положення і результати, які виносяться на захист, одержані автором самостійно.

Апробація роботи. Основні матеріали і результати, одержані в дисертаційній роботі, доповідалися, обговорювалися і були схвалені на науково-технічних конференціях: VII Міжнародна конференція «Хімія та сучасні технології» (м. Дніпропетровськ, 2015 р.); II Міжнародна конференція «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ–2015) (м. Київ, 2015 р.); XVI міжнародна конференція «Проблеми інформатики та моделювання» (ПІМ–2016) (Кароліно-Бугаз, 2016 р.); IX annual scientific conference «Information technology and automation» (Odessa, 2016); XXV Міжнародна конференція MicroCAD-2017 (Харків, 2017 р.); Міжнародна конференція «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (ІТММ-2018) (Дніпро, 2018 р.), I та II Всеукраїнські конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» КМОСС-2015, КМОСС-2016 (Дніпро, 2015, 2016 рр.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 15 друкованих праць, з них 6 – у фахових виданнях України (з яких 2 – у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Web of Science)), 8 – тези і матеріали міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, 1 – патент України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 271 сторінці машинописного тексту, складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, що містить 141 найменування на 16 сторінках, додатків на 66 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Викладено новизну, практичну цінність і дані про апробацію отриманих результатів досліджень. Визначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі виконано аналіз ректифікаційної колони як об'єкта керування. Розглянуто особливості і методи автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням

рухливих керуючих впливів і проаналізовано оптимізаційні критерії, які при цьому застосовувались. Проведено огляд і встановлено особливості існуючої математичної моделі процесу, яка враховує рухливі керуючі впливи.

В результаті аналізу літератури встановлено, що керування таким суттєво розподіленим і інерційним об'єктом, як ректифікаційна колона, вимагає застосування, окрім традиційних, також і рухливих керуючих впливів на процес. Останні полягають в змінах точок введення сировини в колону та співвідношення витрат потоків живлення і дозволяють вести процес в режимах, що недосяжні традиційними методами автоматичного керування.

Представлені в наукових джерелах методи і системи автоматичного керування з використанням керуючих впливів, які можуть бути класифіковані як рухливі, розроблені для керування процесами бінарної ректифікації, внаслідок чого застосоване математичне забезпечення містить суттєві припущення. А при вирішенні завдання статичної оптимізації застосовано прості техніко-економічні критерії і досліджено лише кінцеві, статичні режими роботи колони.

Зазначені обставини характеризують актуальність завдання і є обґрунтуванням теми дисертаційного дослідження. Проведений аналіз дозволив сформулювати мету і завдання роботи.

Другий розділ присвячено побудові математичної моделі процесу багатокомпонентної ректифікації, яка дозволяє враховувати дискретні і неперервні рухливі керуючі впливи на процес. Відповідно до стратегії системного аналізу проведено декомпозицію ректифікаційної колони на більш прості для дослідження і моделювання об'єкти – окремі контактні пристрої (рис. 1), випарник куба і конденсатор-дефлегматор.

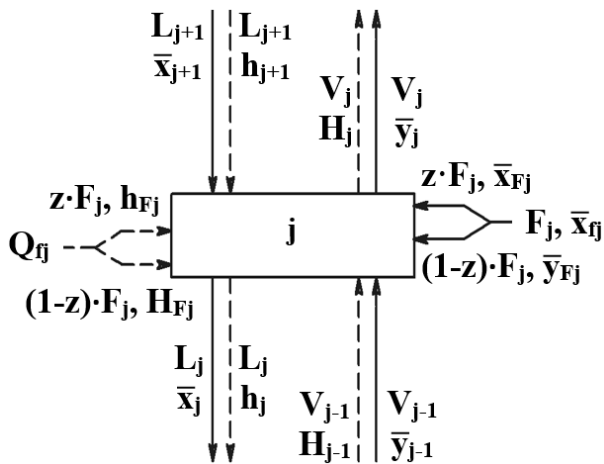


Рис. 1 Схема матеріальних і енергетичних потоків контактної колони

F – витрата живлення, кмоль/год; h – ентальпія рідинної фази, кДж/кмоль; H – ентальпія парової фази, кДж/кмоль; L – витрата рідинної фази, кмоль/год; N_f – номер тарілки живлення; P – тиск, МПа; Q – витрата тепла, кДж/год; V – витрата парової фази, кмоль/год; x – концентрація компонента в рідинній фазі, кмоль/кмоль; y – концентрація компонента в паровій фазі, кмоль/кмоль; z – частка рідинної фази в живленні, кмоль/кмоль; η – ККД контактної пристрою за Мерфрі.

Нижні індекси: f – параметр живлення; j – номер контактної пристрою.

Контактний пристрій колони описується системою рівнянь, до якої входять: загальний матеріальний баланс

$$L_j + V_j = L_{j+1} + V_{j-1} + F_j; \quad (1)$$

матеріальні баланси за окремими компонентами

$$L_j \cdot \bar{x}_j + V_j \cdot \bar{y}_j = L_{j+1} \cdot \bar{x}_{j+1} + V_{j-1} \cdot \bar{y}_{j-1} + F_j \cdot \bar{x}_{f,j}; \quad (2)$$

тепловий баланс

$$L_j \cdot h_j + V_j \cdot H_j = L_{j+1} \cdot h_{j+1} + V_{j-1} \cdot H_{j-1} + Q_{f,j}; \quad (3)$$

розрахунки рівноважних фазових умов і температур кипіння-конденсації

$$\bar{y}_j^* = f(\bar{x}_j, P_j); \quad (4)$$

$$y_{j,i} = y_{j-1,i} + (y_{j,i}^* - y_{j-1,i}) \cdot \eta_{j,i};$$

розрахунки ентальпій потоків

$$\begin{aligned} h_{j+1} &= f(\bar{x}_{j+1}, P_j), & h_j &= f(\bar{x}_j, P_j), \\ H_j &= f(\bar{y}_j, P_j), & H_{j-1} &= f(\bar{y}_{j-1}, P_j), \\ h_{F,j} &= f(\bar{x}_{F,j}, P_{f,j}, t_{f,j}), & H_{F,j} &= f(\bar{y}_{F,j}, P_{f,j}, t_{f,j}); \end{aligned} \quad (5)$$

розрахунок кількості тепла, що вноситься в колону живленням,

$$Q_{f,j} = F_j \cdot (z_j \cdot h_{F,j} + (1 - z_j) \cdot H_{F,j}); \quad (6)$$

відстежується витрата живлення або флегми на контактний пристрій, що моделюється

$$\begin{cases} F_j = q \cdot F, & j = N_{f,1}, \\ F_j = (1 - q) \cdot F, & j = N_{f,2}, \\ F_j = u \cdot Fl, & j = N_{f,3}, \\ F_j = 0, & j \neq N_{f,1}, \neq N_{f,2}, \neq N_{f,3}; \end{cases} \quad (7)$$

усі розрахунки ведуться в дотриманням обмежуючої умови

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i = 1, \quad (8)$$

згідно якої сума концентрацій усіх компонентів дорівнює одиниці.

В запропоновану модель процесу введено додаткові незалежні змінні – коефіцієнти перерозподілу q і u , – що показують, яка частина від загального потоку сировини і флегми подається на нижню тарілку живлення. Це визначає придатність розробленої моделі для досліджень неперервних рухливих впливів на процес.

Для розрахунку статичних характеристик колони розроблено модифікований θ -метод збіжності. Його відмінність від класичного полягає в піднесенні коефіцієнта θ до степеня, відмінного від одиниці:

$$\theta = \theta^b, \quad (9)$$

$$x_{w,i} = \frac{x_{w,i}}{\sum_{i=1}^n x_{w,i}} = \frac{x_{f,i}}{\left(1 + \theta^b \cdot \frac{d_i}{w_i} \cdot \frac{v_{N_{r,i}}^{\uparrow}}{v_{N_{r,i}}^{\downarrow}} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{x_{f,i}}{1 + \theta^b \cdot \frac{d_i}{w_i} \cdot \frac{v_{N_{r,i}}^{\uparrow}}{v_{N_{r,i}}^{\downarrow}}}}, \quad (10)$$

де b – параметр налаштування алгоритму; d – витрата компонента i з дистиллятом, кмоль/год; v – витрата компонента з паровою фазою, кмоль/год;

w – витрата компонента з кубовим продуктом, кмоль/год; θ – параметр ітераційного розрахунку статичних режимів процесу багатоконпонентної ректифікації. Нижні індекси: w – параметр кубового продукту, N_r – параметр контрольного перетину колони. Верхні індекси: \uparrow , \downarrow – напрям розрахунку колони.

Доведено, що залежність числа ітерацій від величини b носить екстремальний характер. Використання модифікованого θ -методу дозволяє істотно (до 50%) скоротити витрати часу, необхідні на пошук рішення, в тому числі і за умови зміни вхідних величин в широких межах. Розроблено методику

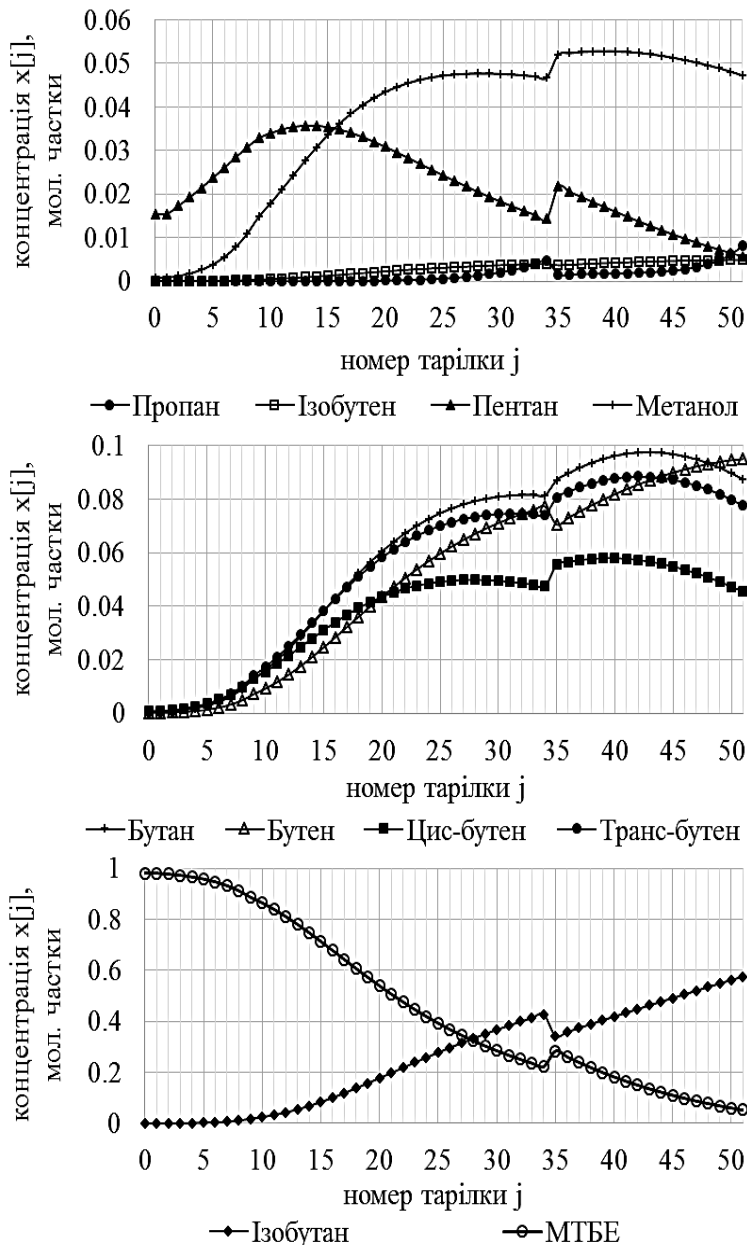


Рис. 2 Концентраційні профілі ректифікаційної колони, розраховані з використанням ідентифікованої моделі

параметричної ідентифікації, яка полягає у визначенні невимірюваних параметрів моделі (ефективностей за Мерфрі контактних пристроїв) з використанням вимірювальної інформації щодо поточних показників процесу і температурного профілю установки.

Проведено дослідження статичних характеристик регламентованого режиму роботи колони для поділу продуктів синтезу метилтретбутилового ефіру МТБЕ (рис. 2) і визначено величини ефективностей масообміну на її контактних пристроях з використанням нелінійної математичної моделі процесу ректифікації і розробленого алгоритму ідентифікації.

Процедура ідентифікації дозволяє звести відхилення результатів розрахунку концентрації МТБЕ в кубовому продукті за моделлю від експериментальних даних до 0,289 % мол., а сумарне відхилення температурних вимірювань – до 0,11°C.

Третій розділ присвячено моделюванню статичних режимів процесів ректифікації з врахуванням рухливих керуючих впливів. Розроблено модель

для розрахунку складів рівноважних фаз, температур кипіння рідинних і конденсації парових сумішей з використанням методів теорії розчинів

$$y_i^* = \frac{P_i}{P} \cdot \gamma_i \cdot x_i, \quad (11)$$

$$\ln P_i = C_{1i} + \frac{C_{2i}}{C_{3i} + T_{kun}} + C_{4i} \cdot \ln T_{kun} + C_{5i} \cdot T_{kun}^{C_{6i}}, \quad (12)$$

$$\ln \gamma_i = \frac{\left(\sum_{j=1, \neq i}^n x_j \cdot \tau_{ji} \cdot G_{ji} \right) \cdot \left(\sum_{j=1, \neq i}^n x_j \cdot G_{ji} \right)}{\left(x_i + \sum_{j=1, \neq i}^n x_j \cdot G_{ji} \right)^2} + \sum_{j=1, \neq i}^n \frac{x_j \cdot G_{ij} \cdot \left(x_j \cdot \tau_{ij} + \sum_{m=1, \neq i, \neq j}^n x_m \cdot G_{mj} \cdot (\tau_{ij} - \tau_{mj}) \right)}{\left(x_j + \sum_{m=1, \neq j}^n x_m \cdot G_{mj} \right)^2}, \quad (13)$$

$$G_{ij} = e^{(-\alpha_{ij} \cdot \tau_{ij})}, \quad (14)$$

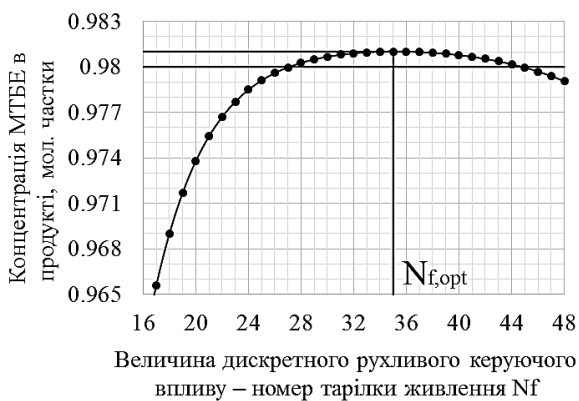
$$\tau_{ij} = \frac{A_{ij}}{R \cdot T_{kun}}, \quad (15)$$

$$\alpha_{ij} = 0,3, \quad (16)$$

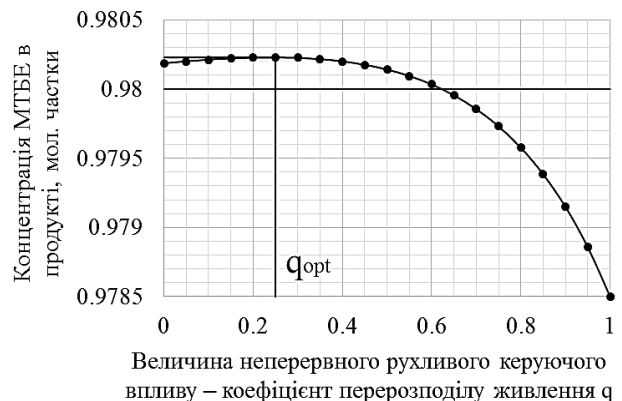
де C – емпіричні коефіцієнти рівняння Антуана; G – параметри взаємодії між компонентами i та j ; P – тиск, МПа; P_i – тиск насиченої пари компонента, МПа; R – універсальна газова стала; T_{kun} – температура кипіння рідинної суміші, °С; y^* – рівноважна концентрація компонента в паровій фазі, кмоль/кмоль; A_{ij} – параметр апроксимуючого рівняння; γ – коефіцієнт активності; τ , α – незалежні параметри бінарної взаємодії рівняння NRTL.

Неідеальність рідинної фази враховується коефіцієнтами активностей компонентів γ . Для розрахунку даних коефіцієнтів запропоновано модифіковане рівняння NRTL (13).

З використанням розробленої моделі досліджено концентраційні профілі ректифікаційної колони при нанесенні дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів (рис. 3) і доведено суттєві зміни в розподілі компонентів за висотою колони.



а



б

Рис. 3 Залежність якості цільового продукту поділу (МТБЕ) від величин рухливих керуючих впливів: дискретних (а) та неперервних (б)

Найбільшою ефективністю характеризується метод керування процесом шляхом переключення місця введення сировини в колону. Відзначено

екстремальні залежності якості цільового продукту від величин рухливих впливів – номера тарілки живлення і ступеня перерозподілу потоку між двома контактними пристроями.

Проведено дослідження статичних характеристик процесу багатокомпонентної ректифікації при нанесенні неперервних рухливих впливів шляхом перерозподілу флегми між верхом і середньою частиною колони. Встановлено, що відведення частини зрошування від верху колони знижує якість кінцевих продуктів.

Розроблено математичну модель і алгоритми розрахунків кількості тепла, що вноситься живленням в колону, на підставі вимірів температури, витрати і складу живлення, а також тиску в лінії подачі сировини. При цьому визначають склад і частку кожної з фаз в потоці живлення, розраховують ентальпії кожної з фаз з урахуванням неідеальності рідинної суміші

$$h = \sum_{i=1}^n \left(x_i \cdot \int_0^t c_{x,i}(t) dt \right) - R \cdot T^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial T} \cdot x_i \right), \quad (17)$$

$$H = \sum_{i=1}^n \left(y_i \cdot \left(\int_0^{t_{kun}} c_{x,i}(t) dt + r_i + \int_{t_{kun}}^t c_{y,i}(t) dt \right) \right), \quad (18)$$

де c – молярна теплоємність компонента i при постійному тиску, кДж/(кмоль·К); r – молярна теплота пароутворення, кДж/кмоль; t – температура, °С. Нижні індекси: x – параметр рідинної фази; y – параметр парової фази.

Встановлено, що якість продуктів поділу екстремально залежить як від номера тарілки живлення (коефіцієнта перерозподілу), так і від температури сировинних потоків.

Четвертий розділ присвячено статичній оптимізації процесу багатокомпонентної ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів. Завдання статичної оптимізації відноситься до розділу нелінійного програмування з обмеженнями у вигляді нерівностей на матеріальне навантаження колони, техніко-економічні показники та керуючі впливи.

В координатах «продуктивність W – енерговитрати Q_w » обмеженню на якість цільового продукту відповідає межа робочої області. Координати оптимальної точки межі розраховують на підставі нормалізованого критерію оптимізації

$$\lambda = z \cdot \lambda_W + \lambda_{Q_w} = z \cdot \frac{W - W_{min}}{W_{max} - W_{min}} + \frac{Q_{w,max} - Q_w}{Q_{w,max} - Q_{w,min}} \rightarrow \max. \quad (19)$$

У випадку ректифікації суміші метанол-вода продуктивність процесу визначається виходом дистилляту D .

При вирішенні завдання статичної оптимізації процесу з використанням рухливих керуючих впливів розрахунок меж робочих областей і координат оптимальних точок виконують для кожної потенційної тарілки живлення або коефіцієнта перерозподілу, а оптимальну величину впливу розраховують з використанням нормалізованого критерію (21).

Обчислення здійснюються на підставі вимірів та розрахунків основних показників процесу: витрати, складу і температури живлення, профілю тиску в колоні, тиску в лінії подачі живлення, температур дистилляту і флегми, ефективностей контактних пристроїв, а також обмежуючих величин

$$N_{f,opt}, q_{opt}, W_{opt}, Q_{w,opt}, \bar{L}, \bar{V}, \bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{t} = f(\bar{N}_f, F, \bar{x}_f, \bar{t}_f, \bar{P}_f, t_{fl}, \bar{P}, \bar{\eta}_i, W_{min}, Q_{w,max}, x_{w,nz,min}). \quad (20)$$

Залежність нормалізованого критерію оптимізації від величин дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів (рис. 4) носить екстремальний характер, що доводить існування і однозначність вирішення завдання статичної оптимізації процесу ректифікації.

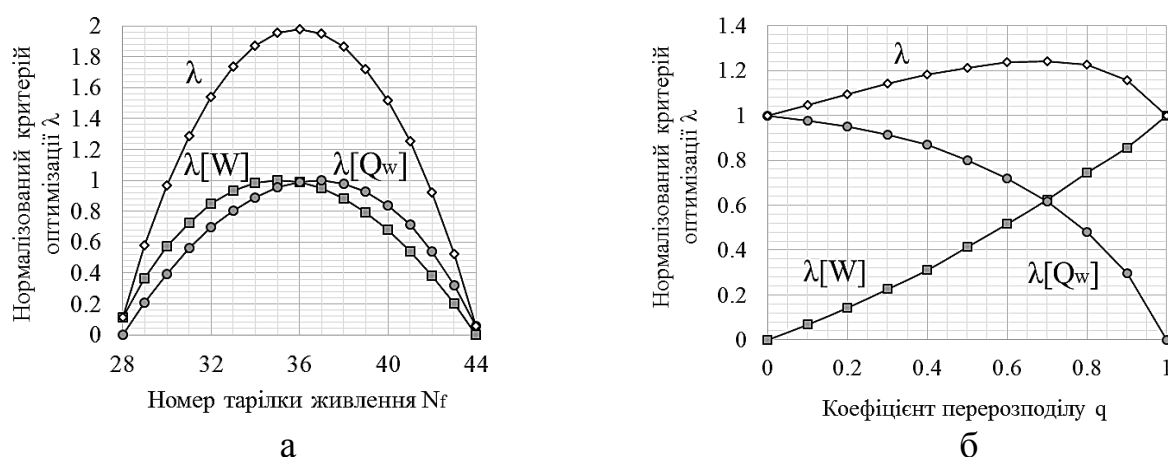


Рис. 4 Залежність нормалізованого критерію оптимізації від величин рухливих керуючих впливів: дискретних (а) та неперервних (б)

Рухливі впливи дозволяють істотно розширити робочу область і підвищити техніко-економічні показники процесу (рис. 5). Зміна q дозволяє досягти безлічі рішень, недосяжних в класі дискретних рухливих впливів.

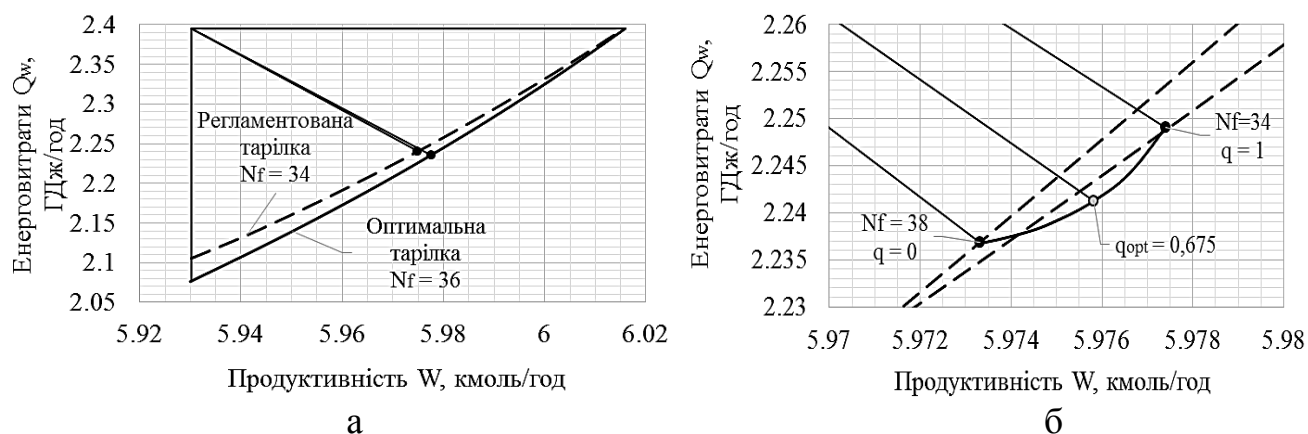


Рис. 5 Вирішення завдання статичної оптимізації процесу ректифікації з використанням дискретних (а) і неперервних (б) рухливих керуючих впливів

Визначено ефективність статичної оптимізації процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів на прикладах усереднених режимів роботи колон для поділу суміші метанол-вода і колони для поділу продукту синтезу МТБЕ (табл. 1).

Для процесу ректифікації суміші метанол-вода підвищення продуктивності становить 1 – 5% при економії тепла в кубі колони на 6 – 8%. Ефективність використання рухливих керуючих впливів при оптимізації статичного режиму роботи колони для поділу продуктів синтезу МТБЕ істотно нижче. Це пояснюється як великим числом тарілок в колоні, так і технологічними особливостями поділу багатокомпонентної суміші, що складається переважно з легких вуглеводнів C_4 і МТБЕ. Однак поява нового ступеня свободи при керуванні статичними режимами ректифікаційних колон дозволяє підвищити техніко-економічні показники процесу.

Табл. 1 Ефективність рухливих керуючих впливів при статичній оптимізації процесу ректифікації

Критерій	Од. вим.	Ректифікація суміші метанол-вода			Ректифікація продукту синтезу МТБЕ		
		Традиційні керуючі впливи	Традиційні і рухливі керуючі впливи	%	Традиційні керуючі впливи	Традиційні і рухливі керуючі впливи	%
1. Однокритеріальна статична оптимізація з використанням дискретних рухливих впливів							
Максимізація продуктивності							
D_{opt}	кмоль/год	62,926	63,642	1,138	6,01563	6,0168	0,019
Мінімізація енерговитрат							
$Q_{w,opt}$	ГДж/год	6,4	5,51	13,91	2,10269	2,0739	1,37
2. Статична оптимізація з використанням дискретних рухливих керуючих впливів							
D_{opt}	кмоль/год	61,29	62,27	1,6	5,9774	5,97763	0,004
$Q_{w,opt}$	ГДж/год	5,67	5,3073	6,4	2,24903	2,23592	0,58
3. Статична оптимізація з використанням неперервних рухливих керуючих впливів							
D_{opt}	кмоль/год	61,29	62,1	1,32	5,9774	5,9758	-0,027
$Q_{w,opt}$	ГДж/год	5,67	5,36	5,47	2,24903	2,2412	0,35

Визначено закон переміщення точки нанесення рухливого керуючого впливу і досліджено ефективність використання рухливих керуючих впливів при статичній оптимізації процесів ректифікації і змінах основних показників процесу – витрати, складу і температури живлення – в широких межах. Встановлено, що підвищення матеріального або енергетичного навантаження колони незалежно від обраного оптимізаційного критерію або їх сукупності, а також підвищення вимог до якості кінцевого продукту знижує номер оптимальної тарілки живлення. При збуренні на процес, яке полягає в зниженні витрат, температури сировини, концентрації цільового компонента в живленні, а також при підвищенні вимог до продуктивності процесу номер тарілки живлення необхідно підвищувати.

П'ятий розділ присвячено розробці методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням дискретних і неперервних рухливих керуючих впливів (рис. 6) і дослідженню перехідних режимів роботи колони при його реалізації.

Процес поділу суміші проводиться в колоні 1, оснащеної випарником 2, конденсатором 3, ємністю для збору дистилляту 4, керуючим пристроєм 5,

датчиком рівня кубового продукту 6, регулятором рівня кубового продукту 7, виконавчим пристроєм 8 на лінії відводу кубового продукту, датчиком тиску 9 верху колони, регулятором тиску 10 верху колони, виконавчим пристроєм 11 на лінії подачі холодоагенту в конденсатор, датчиком рівня 12 в ємності для збору дистиляту, регулятором витрати 13 дистиляту, виконавчим пристроєм 14 на лінії відводу дистиляту, датчиками витрати 15, складу 16 і температури 17 живлення, датчиком тиску 18 в лінії подачі живлення, датчиком тиску 19 низу колони, датчиками температури 20а – 20п на контактних пристроях колони, датчиком температури 21 кубового залишку, датчиками температури 22 і тиску 23 на контрольній тарілці, датчиком витрати 24 і температури 25 зрошування, датчиком витрати 26 теплоносія в випарник, датчиками температури 27 і 28 теплоносія до і після випарника, датчиками тиску 29 і 30 в лініях подачі і відводу теплоносія від випарника, виконавчими пристроями 31а – 31м на лініях подачі живлення в колону, виконавчим пристроєм 32 на лінії подачі зрошування в колону, виконавчим пристроєм 33 на лінії подачі теплоносія в випарник, датчиками витрат 34 і 35 кубового продукту і дистиляту.

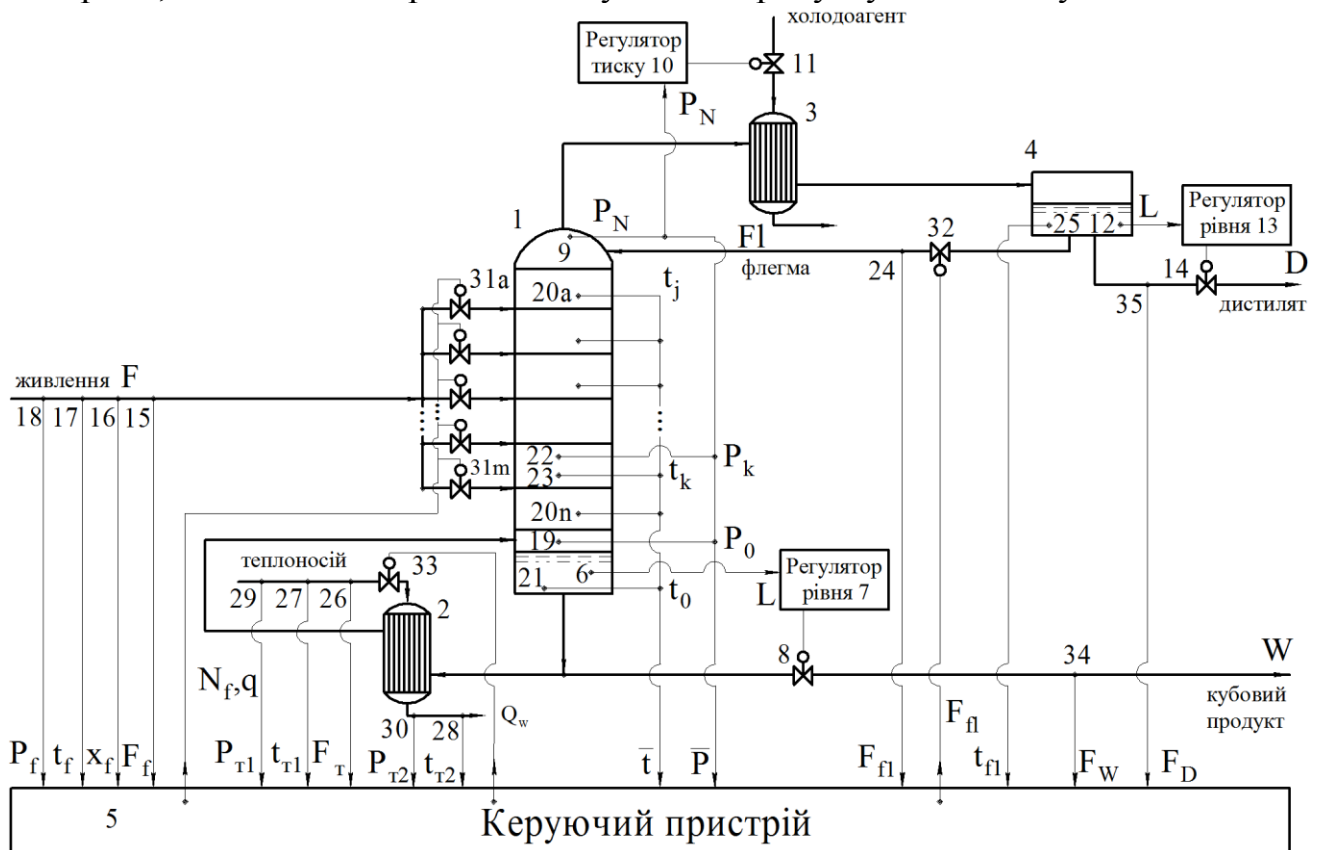


Рис. 6 Схема системи, що реалізує метод автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів

Запропонований метод передбачає:

1) ідентифікацію параметрів прогнозуючої математичної моделі.

Контроль за процесом здійснюється шляхом вимірів температури (23) і тиску (22) на контрольній тарілці. Ідентифікація полягає у визначенні невимірюваних параметрів моделі (ефективностей за Мерфрі контактних

пристроїв), для чого додатково вимірюється температурний профіль апарату (20a – 20n), витрати кінцевих продуктів (34 і 35), перепад тиску у колоні (9, 19);

2) стабілізацію тиску наверху колони, рівнів в ємностях для збору дистиляту і кубового продукту.

Контур автоматичного регулювання рівнем кубового залишку (6 – 8) забезпечує виконання матеріального балансу за рідинною фазою низу колони шляхом зміни витрати кубового продукту. Контури автоматичного регулювання тиском верху колони (9 – 11) і рівнем в ємності для збору дистиляту (12 – 14) забезпечують матеріальний баланс з парової і рідинної фаз верху колони шляхом зміни витрат холодоагенту в конденсатор і дистиляту;

3) розрахунки керуючим пристроєм оптимальних величин рухливих і традиційних керуючих впливів: точок введення сировинних потоків в колону і їх співвідношення, витрат зрошування і тепла в випарнику куба.

Для цього контролюються основні збурення на процес, що полягають у змінах витрати, складу, температури живлення, тиску в лінії подачі живлення. Також вимірюється тиск в колоні і температура зрошування. Відповідна вимірювальна інформація від датчиків 15 – 18, 9, 19 і 25 надходить до керуючого пристрою 5, який розраховує керуючі впливи, що забезпечують оптимальний статичний режим роботи колони за нормалізованим критерієм;

4) застосування керуючим пристроєм оптимальних рухливих і традиційних керуючих впливів на процес.

Зміна точки введення сировини в колону або співвідношення витрат потоків сировини, що подаються в верхню і нижню частини колони, здійснюється керуючим пристроєм шляхом впливу на виконавчі пристрої 31a – 31m. При переключенні номеру тарілки живлення одночасно відкритий тільки один вентиль, при перерозподілі – два (при цьому при зміні керуючого сигналу один з них відкривається, а інший – закривається).

Оптимальна витрата флегми розраховується і забезпечується керуючим пристроєм з використанням інформації про поточну витрату зрошування, що надходить від датчика 24, шляхом впливу на виконуючий пристрій 32.

Оптимальна витрата тепла забезпечується шляхом зміни витрати теплоносія в випарник. Для цього вимірюється поточна витрата (26), температури (27, 28) теплоносія до і після випарника, тиск (29, 30) в лініях подачі і відводу теплоносія, температура кубового продукту (21). З використанням цих показників керуючий пристрій розраховує поточну кількість тепла, що витрачається в випарнику, і відповідним чином змінює витрату теплоносія шляхом впливу на виконуючий пристрій 33.

Для дослідження якості керування при реалізації запропонованого методу розроблено математичну модель динаміки процесу ректифікації. Показники процесу в початковий момент часу визначаються з використанням моделі статичної. Передбачені наступні параметри налаштувань: рівні рідинної фази в кубі, на контактних пристроях, в збірнику флегми.

З використанням розробленої моделі досліджено перехідні режими роботи колони для поділу суміші метанол-вода при основних збуреннях на процес, нанесенні традиційних і рухливих керуючих впливів, а також при

реалізації розробленого методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами з використанням рухливих керуючих впливів (рис. 7).

Автоматичне керування із застосуванням рухливих керуючих впливів характеризується наступними показниками якості: динамічна похибка по каналу «концентрація метанолу – склад живлення» при десятивідсотковому збуренні зі сторони складу живлення не перевищує 0,23%, а час регулювання становить 2 год. Ступінь загасання коливань при регулюванні рівня в ємності для збору дистиляту становить 0,9, що відповідає заданому при розрахунках налаштувань регулятора значенню.

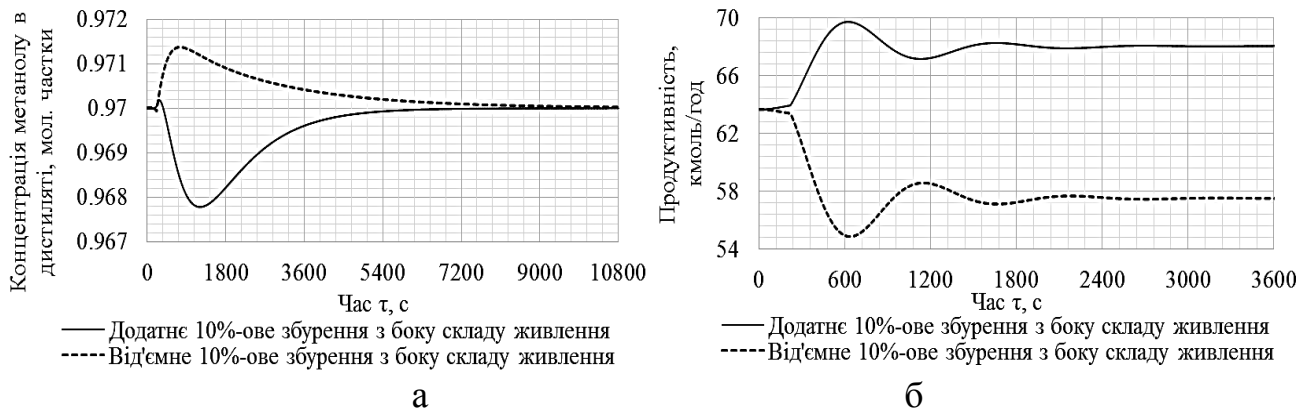


Рис. 7 Перехідні процеси по каналах «концентрація метанолу в дистиляті x_d – склад живлення» (а) і «витрата дистиляту D – склад живлення» (б) при додатному і від'ємному десятивідсотковому збуренні з боку складу живлення

Застосування рухливих керуючих впливів разом із традиційними дозволяє одночасно із збуренням на процес, що надходить із живленням, змінювати просторову координату його надходження в колону, а також встановлювати оптимальні матеріальне та енергетичне навантаження установки шляхом зміни витрат парового і рідинного потоків усередині апарата. Завдяки цьому забезпечуються статичні режими процесу ректифікації, недосяжні при застосуванні лише традиційних керуючих впливів, підвищується продуктивність і енергоефективність ректифікаційних апаратів.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальне наукове завдання, що полягає в підвищенні продуктивності і енергоефективності ректифікаційних колон шляхом розробки методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів і удосконалення математичної моделі і алгоритмів, необхідних для його реалізації. Результат досягається застосуванням при керуванні рухливих керуючих впливів, оптимальні величини яких розраховуються за нормалізованим критерієм.

За результатами досліджень сформульовано наступні висновки:

1. Встановлено, що керування процесами ректифікації вимагає застосування, окрім традиційних, також і рухливих керуючих впливів. Останні

полягають в змінах точок введення сировини в колону та співвідношення витрат потоків живлення і дозволяють вести процес в режимах, що недосяжні традиційними методами автоматичного керування.

2. Вдосконалено математичну модель процесу багатокomпонентної ректифікації, що дозволяє досліджувати дискретні і неперервні рухливі керуючі впливи на процес, статичні режими, які при цьому досягаються. Для цього в існуючу модель введені додаткові незалежні змінні – коефіцієнти перерозподілу живлення і флегми, а також розроблена математична модель, яка дозволяє розраховувати кількість тепла, яка вноситься в колону живленням.

3. Розроблено модифікований θ -метод розрахунку статичних характеристик процесу, відмінності якого полягають піднесенні коефіцієнта θ до степеня, відмінного від одиниці. Доведено, що використання модифікованого θ -методу дозволяє істотно (до 50%) знизити витрати часу, необхідні на пошук вирішення.

4. Розроблено методику параметричної ідентифікації математичної моделі процесу багатокomпонентної ректифікації, яка полягає у визначенні ефективностей за Мерфрі контактних пристроїв ректифікаційної колони з використанням вимірювальної інформації щодо поточних показників процесу і температурного профілю установки.

5. Доведено суттєві зміни концентраційних профілів ректифікаційних колон внаслідок застосування дискретних і неперервних керуючих впливів. Найбільша ефективність досягається шляхом переключення місця введення сировини в колону. Відзначено екстремальні залежності якості кубового продукту від номера тарілки живлення і ступеня перерозподілу потоку сировини між двома контактними пристроями.

6. Розроблено метод статичної оптимізації процесу багатокomпонентної ректифікації. Доведено на прикладах критеріїв максимізації продуктивності і мінімізації енерговитрат екстремальну залежність нормалізованого критерію оптимізації від номера тарілки живлення і коефіцієнта перерозподілу, із чого випливає існування і однозначність вирішення даного завдання.

7. Встановлено, що підвищення матеріального чи енергетичного навантаження колони незалежно від обраного оптимізаційного критерію або їх сукупності, а також підвищення вимог до якості кінцевого продукту знижує номер оптимальної тарілки живлення. При збуренні на процес, яке полягає в зниженні витрат, температури сировини, концентрації цільового компонента в живленні, а також при підвищенні вимог до продуктивності процесу номер тарілки живлення необхідно підвищувати.

8. Розроблено метод автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації. Методом передбачені рухливі керуючі впливи одночасно із застосуванням традиційних, що полягають в змінах витрат тепла в випарнику і зрошування в колонну. Доведено, що запропонований метод дозволяє підвищити вихід цільового продукту до 5% і, одночасно з цим, знизити теплові витрати в випарнику куба до 8%.

9. Досліджено перехідні режими роботи ректифікаційної колони при застосуванні оптимальних традиційних і рухливих керуючих впливів на процес згідно з розробленим методом. Встановлено, що рухливі керуючі впливи дозволяють підвищити продуктивність і енергоефективність ректифікаційних апаратів при допустимих показниках якості управління.

Положення та результати дисертації опубліковано в 15 наукових працях, основні з яких:

1. Шейкус А. Р. Способ управления процессом ректификации с помощью распределенных управляющих воздействий [Текст] / И. Л. Левчук, А. Р. Шейкус, В. Я. Тришкин // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2015. – № 14 (1123). – С. 100 – 105.

2. Sheikus, A. Developing a technique for improving the efficiency of iterative methods for the calculation of the multicomponent rectification process / Anton Sheikus, Elena Belobrova, Yaroslav Dovgopoliy, Igor Levchuk, Valeriy Korsun // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, N 2 (84). – P. 38 – 44. – DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85372.

3. Шейкус А. Р. Моделирование парожидкостного равновесия при подвижном управлении процессами ректификации [Текст] / А. Р. Шейкус, И. Л. Левчук, В. Я. Тришкин, В. И. Корсун // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 44 (1216). – С. 87 – 100. – DOI: 10.20998/2411-0558.2016.44.08.

4. Шейкус А. Р. Управление процессом ректификации с использованием подвижных управляющих воздействий с двумя степенями свободы [Текст] / А. Р. Шейкус, И. Л. Левчук, В. Я. Тришкин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2017. – №1. – С. 60 – 72.

5. Шейкус А. Р. Параметрична ідентифікація математичної моделі процесу ректифікації [Текст] / А. Р. Шейкус // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – №3. – С. 32 – 40.

6. Шейкус А. Р. Статическая оптимизация процессов ректификации с использованием подвижных управляющих воздействий [Текст] / А. Р. Шейкус, В. Я. Тришкин // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2018. – №1. – С. 192 – 201. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-1-22.

7. Пат. 93961 Україна, МПК (2006.01) B01D 3/42. Спосіб керування процесом ректифікації [Текст] / А. Р. Шейкус, І. Л. Левчук, В. Я. Тришкін (Україна); заявник і патентовласник ДВНЗ «Укр. держ. хім.-техн. ун-т». – № 201404446; заявл. 25.04.14; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20. – 3 с.

8. Mathematical and algorithmic support for studying the mobile control of multicomponent rectification processes / A. R. Sheikus, I. L. Levchuk, V. Ya. Trishkin, A. O. Gyrenko // IX conference «Information technology and automation – 2016» (Odessa, October 11 – 14, 2016). – Odessa, 2016. – P. 35 – 36.

9. Многокритериальная статическая оптимизация процессов ректификации с использованием подвижных управляющих воздействий [Текст] / А. Р. Шейкус // XXV Міжнародна конференція MicroCAD-2017 (Харків, 17 – 19 травня 2017 р.): у 4 ч. Ч. IV. – Харків, 2017. – С. 120.

10. Автоматическое управление оптимальными статическими режимами процесса ректификации с использованием подвижных управляющих воздействий [Текст] / А. Р. Шейкус, В. Я. Тришкин // Міжнародна конференція ITMM-2018 (Дніпро, 27 – 29 березня, 2018 р.). – Дніпро, НМетАУ. – С. 144.

Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих у співавторстві: [1, 8] – розробка математичної моделі процесу ректифікації з врахуванням рухливих керуючих впливів; [2] – розробка математичної моделі та розрахунки рівноважних фазових умов із застосуванням методів теорії розчинів; [3] – модифікація θ -методу розрахунку статичних характеристик процесу багатокомпонентної ректифікації; [4] – вирішення задачі розрахунку фазового складу, частки і ентальпії кожної фази у живленні з врахуванням неідеальності рідинної суміші; [5] – ідея і алгоритм параметричної ідентифікації математичної моделі процесу багатокомпонентної ректифікації, розрахунок концентраційних, теплового профілів колони; [6, 9] – розробка методу статичної оптимізації процесу ректифікації, [7] – метод керування процесом ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів, [10] – моделювання динамічних режимів роботи ректифікаційної колони при нанесенні оптимальних рухливих керуючих впливів на процес.

АНОТАЦІЯ

Шейкус А.Р. Автоматичне керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, Дніпро, 2019.

У дисертаційній роботі представлено вирішення актуального наукового завдання розробки методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів, а також удосконалення математичної моделі і алгоритмів, необхідних для його реалізації.

Розроблено математичну модель процесу багатокомпонентної ректифікації, яка враховує дискретні і неперервні рухливі керуючі впливи на процес. Здійснено модифікацію θ -методу розрахунку статичних характеристик процесу, запропоновано методуку параметричної ідентифікації моделі.

Досліджено технологічні особливості і розроблено метод автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів. Методом передбачені розрахунки оптимальних величин традиційних і рухливих керуючих впливів на процес за нормалізованим критерієм оптимізації, що дозволяє підвищити продуктивність і енергоефективність ректифікаційних апаратів.

Розроблено математичну модель і алгоритми, необхідні для реалізації методу автоматичного керування оптимальними статичними режимами процесів ректифікації з використанням рухливих керуючих впливів. Доведено,

що використання методу дозволяє підвищити вихід цільового продукту до 5% і, одночасно з цим, знизити теплові витрати в випарнику куба до 8%.

Ключові слова: автоматичне керування, процес ректифікації, рухливі впливи, статична оптимізація, тарілка живлення, θ -метод, МТБЕ.

АННОТАЦІЯ

Шейкус А.Р. Автоматическое управление оптимальными статическими режимами процессов ректификации с использованием подвижных управляющих воздействий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – «Автоматизация процессов управления». – Национальный технический университет «Днепровская политехника» МОН Украины, Днепр, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача разработки метода автоматического управления оптимальными статическими режимами процессов ректификации с использованием подвижных управляющих воздействий, а также усовершенствования математической модели и алгоритмов, необходимых для его реализации.

Анализ существующих решений показал, что управление процессами ректификации требует применения, кроме традиционных, также и подвижных управляющих воздействий. Последние заключаются в изменениях точек ввода сырья в колонну и соотношения расходов потоков питания и позволяют вести процесс в режимах, недостижимых традиционными методами автоматического управления.

Усовершенствована математическая модель процесса ректификации, позволяющая исследовать дискретные и непрерывные подвижные управляющие воздействия на процесс и статические режимы, которые при этом достигаются. Для этого в существующую модель введены дополнительные независимые переменные – коэффициенты перераспределения питания и флегмы, а также разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать количество тепла, которое вносится в колонну питанием.

Разработан модифицированный θ -метод расчета статических характеристик процесса, особенность которого заключается поднесении коэффициента θ к степени, отличной от единицы. Доказано, что использование модифицированного метода позволяет существенно (до 50%) снизить затраты времени, необходимые на поиск решения.

Разработана методика параметрической идентификации математической модели процесса ректификации, которая заключается в определении эффективности по Мерффи контактных устройств ректификационной колонны с использованием измерительной информации о текущих показателях процесса и температурного профиля установки.

Доказаны существенные изменения концентрационных профилей ректификационных колонн вследствие нанесения дискретных и непрерывных управляющих воздействий. Наибольшая эффективность достигается путём

переключения места ввода сырья в колонну. Отмечена экстремальная зависимость качества кубового продукта от номера тарелки питания и степени перераспределения потока сырья между двумя контактными устройствами.

Разработан метод статической оптимизации процесса многокомпонентной ректификации. Доказана на примерах критериев максимизации производительности и минимизации энергозатрат экстремальная зависимость нормализованного критерия оптимизации от номера тарелки питания и коэффициента перераспределения, из чего следует существование и однозначность решения данной задачи.

Установлено, что повышение материальной или энергетической нагрузки колонны независимо от выбранного оптимизационного критерия или их совокупности, а также повышение требования к качеству конечного продукта понижает номер оптимальной тарелки питания. При возмущении на процесс, которое заключается в снижении расхода, температуры сырья, концентрации целевого компонента в питании, а также при повышении требования к производительности процесса, номер тарелки питания необходимо повышать.

Разработан метод автоматического управления оптимальными статическими режимами процессов ректификации. Методом предусмотрены дискретные и непрерывные подвижные управляющие воздействия одновременно с применением традиционных, которые заключаются в изменениях расходов тепла в испарителе и орошения в колонну. Доказано, что предложенный метод позволяет повысить выход целевого продукта до 5% и, одновременно с этим, снизить тепловые затраты в испарителе куба до 8%.

Исследованы переходные режимы работы ректификационной колонны при применении оптимальных традиционных и подвижных управляющих воздействий на процесс согласно разработанному методу. Установлено, что подвижные управляющие воздействия позволяют повысить производительность и энергоэффективность ректификационных аппаратов при допустимых показателях качества управления.

Ключевые слова: автоматическое управление, процесс ректификации, подвижные воздействия, статическая оптимизация, тарелка питания, θ -метод, МТБЭ.

ABSTRACT

Sheikus A.R. Automatic control of optimal static modes of rectification processes with the use of mobile control actions. – On the right of manuscript.

Thesis on the competition of graduate degree of candidate of engineering sciences, speciality 05.13.07 – Automation of control processes. – National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, 2019.

The thesis presents the solution of the actual scientific problem of development of method of automatic control of optimal static modes of rectification processes with the use of mobile control actions, as well as the improvement of mathematical model and algorithms required for its implementation.

The mathematical model of the process of multicomponent rectification considering discrete and continuous mobile control actions on the process was developed. Modification of θ -method of calculation of static characteristics of the process was carried out; the technique of parametric identification of model was offered.

The technological features were researched and the method of automatic control of optimal static modes of rectification processes with the use of mobile control actions was developed. The method provides for the calculation of optimal values of traditional and mobile control actions on the process according to normalized optimization criterion that enables to enhance the productivity and energy efficiency of rectification column.

The mathematical model and algorithms required for implementation of method of automatic control of optimum static modes of rectification processes with the use of mobile control actions were developed. It has been proved that the use of method enables to increase the yield of target product up to 5%, and to reduce heat consumption in the evaporator of the cube up to 8% concurrently.

Keywords: automatic control, rectification process, mobile control actions, static optimization, feed plate, θ -method, MTBE.

ШЕЙКУС Антон Романович

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИМИ СТАТИЧНИМИ
РЕЖИМАМИ ПРОЦЕСІВ РЕКТИФІКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ РУХЛИВИХ
КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ

(Автореферат)

Підписано до друку 23.01.19. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 1,15. Тираж 100 прим. Замовлення № 1.
Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015.

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

