

МЕТОДИ ТА ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 663.551.41:681.5

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЮ КОЛОНОЮ

В. В. Іванчук, В. В. Древецький*

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна 11, м. Рівне, 33000, e-mail: v.v.ivanchuk@niwmt.edu.ua*

Розглянуто процес брагоректифікації у виробництві етилового спирту. Розроблено математичну модель визначення і регулювання флегмового числа ректифікаційної колони і його вплив на концентрацію і кількісний склад домішок вихідної продукції. Запропоновано спосіб розрахунку і принципову схему автоматичного контролю та регулювання флегмового числа для підвищення якості кінцевого продукту і зменшення енерговитрат.

Ключові слова: брагоректифікаційна установка, флегмове число, автоматизована система управління, ректифікаційна колона, етиловий спирт.

Рассмотрен процесс брагоректификации в производстве этилового спирта. Разработана математическая модель определения и регулирования флегмового числа ректификационной колонны и его влияние на концентрацию и количественный состав примесей исходной продукции. Предложен способ расчета и принципиальная схема автоматического контроля и регулирования флегмового числа колонны для повышения качества конечного продукта и уменьшения энергозатрат.

Ключевые слова: брагоректификационная установка, флегмове число, автоматизированная система управления, ректификационная колонна, этиловый спирт.

Here the process of distillation in the production of ethanol is considered. Developed a mathematical model of determination and regulation of ratio of distillation column and its impact on concentration and quantitative composition of impurities of outgoing product. Suggested a method of calculation and schematic diagram of ratio automatic control and regulation in order to improve the quality of the final product and to reduce the energy costs.

Keywords: distillation setup, ratio, automatic control system, distillation column, ethanol.

Вступ. Ректифікація - процес розділення рідких легких сумішей на компоненти або групи компонентів (фракції) шляхом багаторазового двобічного масо- і теплообміну між протічними рухомими паровим та рідким потоками. Необхідна умова процесу ректифікації - різниця в леткості (пружності пари) окремих компонентів.

Впродовж багатьох років найбільш поширеними у спиртовому виробництві є брагоректифікаційні установки непрямої дії, що складаються з бражної, еспораційної та ректифікаційної колон з дефлегматорами, конденсаторами і допоміжним обладнанням.

Брагоректифікаційна установка (БРУ) є складним об'єктом управління технологічного процесу, що характеризується значною

енергоємністю, складністю процесів масообміну, нестабільністю технологічних параметрів. Завданням процесу брагоректифікації є звільнення етилового спирту від більшості домішок і отримання спирту стандартної концентрації. Одночасно домішки, що відбираються, повинні бути максимально сконцентровані, що дасть можливість збільшити вихід готової продукції. У цьому випадку втрати спирту з побічними продуктами будуть мінімальними. Однак, сучасні автоматизовані системи управління БРУ базуються на управлінні за непрямыми показниками, такими як: витрати основних матеріальних потоків, тиск, температура, що в певних межах забезпечує стабільність роботи процесу, але не дають можливостей для

своєчасного реагування на різноманітні технологічні ситуації, викликані зміною якісних характеристик сировини та основних матеріальних потоків, що призводить до втрат енергетичних ресурсів та погіршення якості вихідної продукції.

Значні досягнення в області брагоректифікації були отримані в шістдесяти-вісімдесяти роки такими вченими як В.М. Стабніков, П.С. Циганков, В.Г. Артохов та іншими. З найбільш перспективних напрямків вдосконалення роботи БРУ з точки зору зменшення собівартості продукту та повноти вилучення домішок, можна виділити такі [1-3]:

- нарощування колон додатковими царгами;
- введення додаткових колон для виділення спирту з побічних продуктів та додаткового очищення (розгінної, колони кінцевої очистки, укріплюючої колони);
- використання направленої екстрактивної ректифікації (гідроселекції);
- робота колон під різними тисками та рекуперация пари;
- використання нових типів дефлегматорів і конденсаторів;
- використання додаткового очищення адсорбентами.

Аналіз досліджень і постановка задачі. На сучасному етапі автоматизованими системами управління забезпечується тільки стабілізація заданих режимів роботи БРУ, а вирішення інших задач покладено на операторів-технологів. Тобто необхідно вдосконалити існуючі системи автоматизованого управління БРУ, для реалізації функцій оперативної корекції заданих режимів роботи БРУ. Для пошуку шляхів вдосконалення необхідно провести аналіз існуючих підходів до управління брагоректифікаційними установками, реалізованих на спиртових заводах та описаних у літературних джерелах.

В наш час завдання автоматизації БРУ можна розділити на два основні складники:

1) підтримання заданих параметрів установки в певному допустимому діапазоні і коригування цих параметрів у залежності від значень вхідних технологічних параметрів;

2) мінімізація енерговитрат на БРУ, при допустимих регламентом втратах спирту з вторинними продуктами брагоректифікації.

На спиртових заводах БРУ обладнані системами автоматизації на базі мікропроцесорних контролерів та підключених до них за допомогою спеціальних інтерфейсів електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). Таким чином, створюються автоматизовані

робочі місця (АРМ) оператора-технолога БРУ. Як правило, такі системи дозволяють, окрім організації активного діалогу машини та людини, здійснювати запис значень контрольованих змінних в спеціальні бази даних для можливості їх перегляду в подальшому. АРМи оператора можуть працювати автономно або можуть об'єднуватися в промислові мережі, що дозволяють об'єднувати всі мікропроцесорні контролери та АРМ операторів всіх відділень спиртзаводу, а також здійснювати інтеграцію рівня автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) спиртзаводу та рівня автоматизованої системи управління підприємством, яка також включає в себе управління бізнес-процесами спиртового виробництва.

Аналіз типової системи автоматизації триколонної БРУ показує, що управління БРУ здійснюється на основі непрямих показників: температур, тисків, витрат основних матеріальних потоків. Як показує досвід роботи таких АСУ, вони досить надійно реалізують поставлені на них задачі за умови стабільної якості матеріальних потоків. Однак контури управління практично не реагують на зміну якісних показників матеріальних потоків БРУ, оскільки вимірювальні величини не чутливі до такого типу збурень. Тому управління процесом брагоректифікації в складних конфліктних ситуаціях повністю засновано на інтуїції і досвіді оператора, який, виходячи з результатів суб'єктивних спостережень, аналізує величини температури і тиску в контрольних точках обладнання, приймає оперативні рішення з управління процесом. Але так як на процес постійно діють випадкові збурення, то, в такому випадку, є велике запізнення в контурі регулювання якості вихідного продукту. Оператор БРУ не може оперативно сприйняти і обробити цей потік інформації і прийняти оптимальне рішення з управління процесом: виникає так звана невизначеність у вирішенні поставленої задачі. Оператор зобов'язаний аналізувати множину інформаційних параметрів і приймати управляючі рішення інколи в умовах недостатньої інформації і дефіциту часу.

В критичних ситуаціях людина не здатна справитися з великим потоком інформації і часто помиляється при ідентифікації ситуації, що виникає. Розпізнавання ситуації на рівні засобів локальної автоматики, та й навіть мікропроцесорної техніки (в програмне забезпечення, якої закладені класичні підходи до управління БРУ) не є можливою, так як необхідний аналіз параметрів системи в цілому, або її окремих функціонально пов'язаних

укрупнених частин. Все це знижує оперативність і якість прийняття рішень, робить їх багато в чому залежними від досвіду і особистих характеристик людини-оператора.

Основні алгоритми управління БРУ розроблені в 50-х - 70-х роках. Основні підходи до автоматизації процесів брагоректифікації базуються на роботах Мандельштейна М. Л. [4 - 10], а також підходи до автоматизації процесів ректифікації в хімічній промисловості Анісімов І. В. [11], та ряд інших. Математичне моделювання процесів ректифікації описано в роботах Мандельштейна М. Л., Стабнікової В. Н., Ніколаєвої А. П. [12], Анісімової І. В., Бодрової В. І. [13], Демиденко Н. Д. [14], Кафарової В. В. [15, 16], Остапчук Н. В. [17], Заворко І. В. [18] та інших.

Таким чином, актуальною задачею є розробка та впровадження нових алгоритмів управління в системах автоматизації БРУ для отримання високої якості етилового спирту та мінімізації витрат енергетичних ресурсів.

Метою цієї роботи є створення математичної моделі брагоректифікаційної установки для дослідження впливу флегмового числа колони на концентрацію і кількісний склад продукту та розробка системи автоматичного управління браго ректифікаційним процесом.

Завданням процесу брагоректифікації є звільнення спирту-ректифікату від більшості домішок і отримання спирту стандартної концентрації. Одночасно домішки, що відбираються, повинні бути максимально сконцентровані, що дасть можливість збільшити вихід готової продукції. У цьому випадку втрати спирту з побічними продуктами будуть мінімальними. Таким чином, головним показником роботи процесу БРУ - задана концентрація і чистота вихідної продукції з ректифікаційної колони. Основним чинником, що визначає концентрацію пастеризованого спирту, є флегмове число, яке регулюють зміною подачі пари в колону при відповідній зміні подачі води в дефлегматор. Оптимальне флегмове число визначається на підставі техніко-економічних розрахунків [19].

Сучасні завдання в галузі вдосконалення очищення спирту і методи конструкційного оформлення процесу ректифікації вимагають детального знання поведінки домішок, їх розподілу та концентрування по висоті колон. Летюча частина бражки обумовлена п'ятьма основними компонентами або групами компонентів:

- етиловим спиртом;

- головними домішками;
- проміжними домішками;
- кінцевими домішками і хвостовими.

Головні домішки, що мають коефіцієнт ректифікації завжди більший одиниці, будуть легко віддалятися з водно-спиртової суміші і концентруватися у верхній точці колони.

Хвостові домішки, що мають меншу летючість, ніж спирт при будь-якій концентрації, будуть входити в залишок.

Проміжні домішки, що мають більшу летючість, ніж спирт при низьких концентраціях, вилучатимуться у відгінній частині колони і зміщуватимуться вниз по колоні. За таких умов проміжні домішки будуть накопичуватися в середній частині повної колони, там, де їх коефіцієнт ректифікації дорівнює одиниці, тому нижче цієї зони проміжні домішки поведуться, як головні, і прагнуть рухатися вгору по колоні; вище вони поведуться, як хвостові, і відтісняються вниз більш летючим компонентом - етиловим спиртом. Проміжні домішки відбирають зазвичай із зони максимального їх накопичення і, як правило, у другій знизу чверті частини повної ректифікаційної колони. Для кожної проміжної домішки існує своя зона максимального накопичення, де коефіцієнт ректифікації для неї дорівнює одиниці.

Проміжні домішки, що мають коефіцієнт ректифікації одиницю, при концентрації етанолу більше 70% об, умовно називають верхніми, при меншій концентрації - нижніми проміжними домішками. До числа верхніх проміжних домішок відносять ізовалеріаноетіловий і ізомасляноетіловий ефіри, в число нижніх - спирти сивушного масла (крім ізопропанола), ізовалеріаноізоаміловий і оцтовоізоаміловий ефіри. Такий поділ проміжних домішок умовний, проте він дає можливість деталізувати зони їх групового концентрування [20].

Кінцеві домішки, що мають малу летючість в зоні малих концентрацій спирту і велику летючість при високих концентраціях спирту, не накопичуються всередині колони, а в залежності від концентрації спирту зміщуються по колоні вгору (як головна домішка), або вниз (як хвостова). Характерна кінцева домішка - метанол.

Знання коефіцієнтів випаровування спирту і домішок дає можливість обґрунтовано підійти до створення схем ректифікаційних установок для виділення спирту з бражки і його очищення від домішок.

Для досягнення даної задачі було створено, за допомогою програмного середовища

СHEMCAD, модель визначення та регулювання флегмового числа ректифікаційної колони та її впливу на концентрацію і кількісний склад домішок вихідної продукції (рис. 1). Проведено дослідження, яким чином зміниться флегмове число колони шляхом регулювання перепаду тиску в колоні, витрати флегми в колоні, витрати вихідної продукції і неастеризованого спирту. Встановлено, що при отриманні спирту концентрацією 96,2% об. оптимальне флегмове число коливається в межах $3,5 \pm 0,5$, якщо колона працює при атмосферному тиску [21].

На рисунках 2, 3 і 4 зображена концентрація домішок і етилового спирту на кожній тарілці ректифікаційної колони, при флегмовому числі

3,0; 3,5; 4,0, якщо колона працює при атмосферному тиску. Аналізуючи дані графіки, можна зробити висновок, що при граничних значеннях флегмового числа ректифікаційної колони спостерігається погіршення якості вихідної продукції, тобто спирту-ректифіката, зменшення продуктивності колони і збільшення витрати енергетичних носіїв, що вимагає колона ректифікації. Тому, з метою отримання спирту-ректифікату поліпшеної якості, необхідно вести систематичний контроль за кількісними показниками домішок вихідної продукції на певних етапах ректифікації і здійснювати автоматичну стабілізацію флегмового числа.

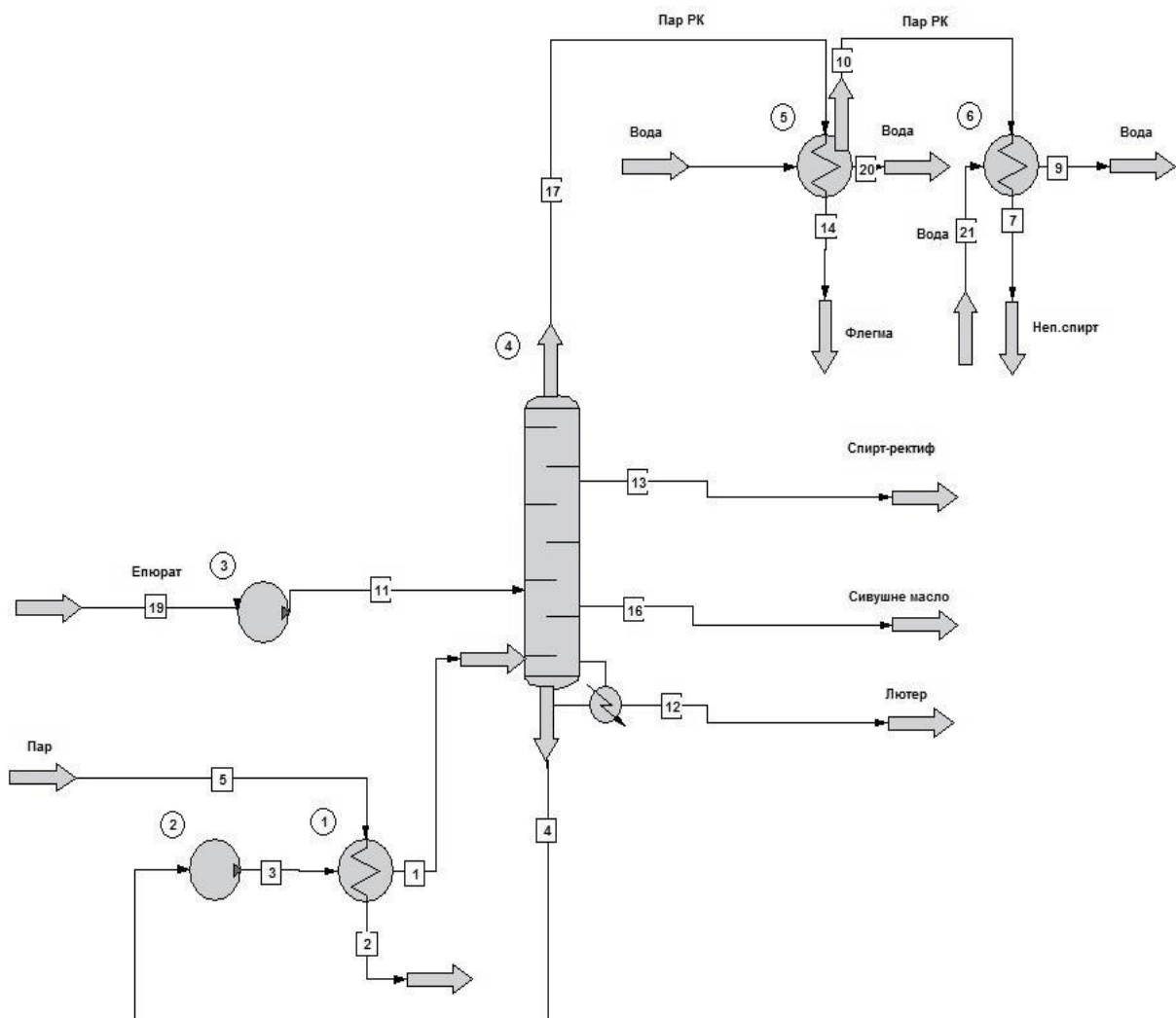


Рисунок 1 - Модель визначення і регулювання флегмового числа ректифікаційної колони та її впливу на концентрацію і кількісний склад домішок вихідної продукції

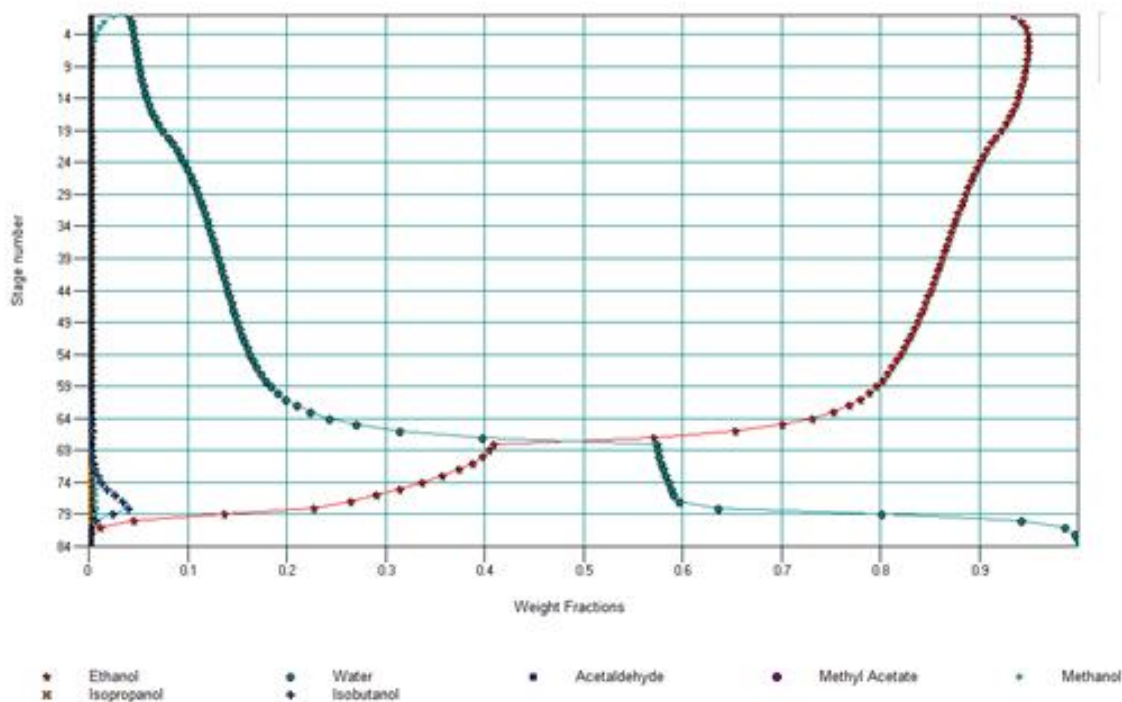


Рисунок 2 - Концентрація домішок і етилового спирту на кожній тарілці ректифікаційної колони, при флегмовому числі 3,0

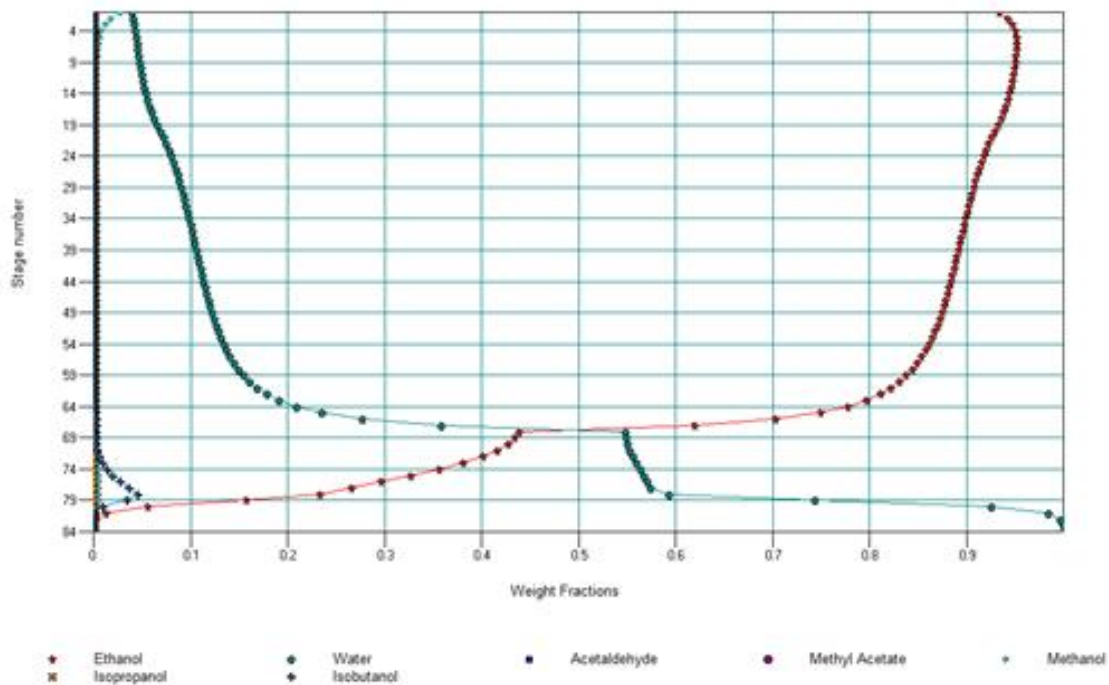


Рисунок 3 - Концентрація домішок і етилового спирту на кожній тарілці ректифікаційної колони, при флегмовому числі 3,5

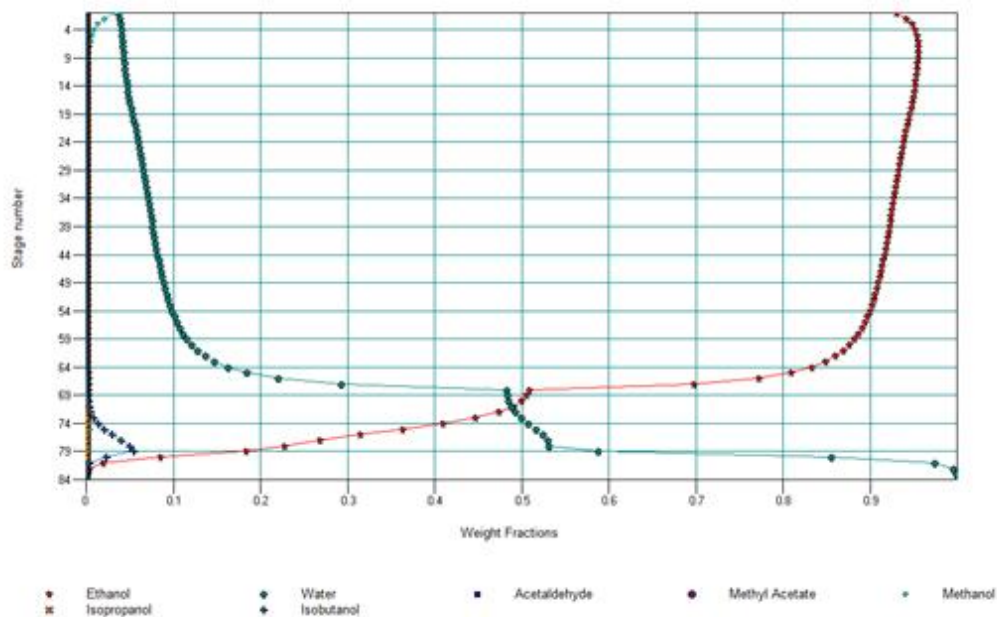


Рисунок 4 – Концентрація домішок і етилового спирту на кожній тарілці ректифікаційної колони, при флегмовому числі 4,0

Як відомо, ректифікаційна колона є складним багатозв'язаним об'єктом управління. Тому для ефективного перебігу технологічного процесу брагоректифікації необхідно спроектувати таку систему автоматизації, яка б забезпечувала регулювання основних параметрів колони і контроль ряду інших параметрів, за якими проводиться розрахунок керуючих впливів.

Завдання автоматизації БРУ можна розділити на дві основних складові і сформулювати наступним чином:

1) підтримка заданих параметрів установки в певному допустимому діапазоні і коригування цих параметрів залежно від значень вхідних технологічних параметрів;

2) підтримання балансу матеріальних та енергетичних потоків.

З метою забезпечення оптимального споживання енергетичних потоків пропонується, крім стабілізації основних технологічних параметрів БРУ, впровадження автоматичного розрахунку і підтримка оптимального значення флегмового числа, що впливає на витрати енергетичних ресурсів.

Флегмове число визначається на основі наступних параметрів: витрата флегми, що подається на вгору колони ректифікації; міцність флегми; витрата спирту; міцність спирту.

З урахуванням даних параметрів нами запропоновано обчислювати флегмове число як

відношення абсолютного алкоголю флегми до відбіркового дистилляту. Значення абсолютного алкоголю визначається як добуток витрати на міцність відповідно флегми і дистилляту [23].

Для вирішення поставленого завдання була розроблена принципова схема автоматичного управління брагоректифікаційний установкою непрямої дії з урахуванням основних технологічних потоків і засобів їх автоматичного контролю та регулювання.

Регулювання флегмового числа здійснюється шляхом стабілізації співвідношення витрат пари і води з урахуванням кількісних показників домішок на певних етапах ректифікації, що сприяє мінімізації витрат енергетичних ресурсів [22], а його контроль дозволить підвищити якісні характеристики роботи для кожної з колон.

ВИСНОВКИ

Проведене комп'ютерне моделювання процесу брагоректифікації дало можливість визначити взаємозв'язок між основними технологічними параметрами, перелік контрольованих, регульованих параметрів і керуючих впливів, сформулювати вимоги до автоматизованої системи управління технологічним процесом. Впровадження запропонованих способів визначення, контролю та стабілізації основних технологічних параметрів роботи брагоректифікаційний установки, зокрема флегмового числа, який

здійснюється шляхом стабілізації співвідношення витрат пари і води з урахуванням кількісних показників домішок на певних етапах ректифікації, сприяє мінімізації витрат енергетичних ресурсів. Таким чином, підтримування оптимального флегмового числа дозволить підвищити якісні характеристики роботи колони.

Пропоновані рішення включені в проектну документацію реконструкції спиртового виробництва на заводі в Республіці Білорусь, а окремі технологічні контури автоматичного регулювання, з урахуванням отриманих теоретичних розрахунків, апробовані на спиртовому заводі в Литві.

1. Леонтьев В.С. Техническое перевооружение ректификационных отделений спиртовых заводов / В.С. Леонтьев // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2002. - №2. - С.18-20. 2. Ярмош В. И. Проблемы и перспективы спиртовой отряси / В. И. Ярмош // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2002. - №2. - С. 4-5. 3. Римарева Л. В. Технологические аспекты получения высококачественного спирта / Л. В. Римарева, М. Б. Оверченко, Н. И. Игнатова, А. Т. Кадиева, Т. М. Шелехова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2002. - №3 - С.16-19. 4. Стабников В.Н. Ректификация в пищевой промышленности. Теория процесса, машины, интенсификация / В. Н. Стабников, А. П. Николаев, М. Л. Мандельштейн. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.- 232 с. 5. Мандельштейн М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации / М. Л. Мандельштейн - М.: Пищевая промышленность, 1975. – 240 с. 6. Мандельштейн М. Л. Математическая модель и статические характеристики ректификационной колонны / М. Л. Мандельштейн // Ферментная и спиртовая промышленность. - 1969. - №1. - С.11-16. 7. Мандельштейн М. Л. Номограмма для оптимального управления ректификационной колонной / М. Л. Мандельштейн, Л. А. Аксельрод // Ферментная и спиртовая промышленность. - 1969. - №6. - С. 6-10. 8. Сатановский В. Р. Система автоматического регулирования бражной колонны с переключением управляющих воздействий / В. Р. Сатановский, М. Л. Мандельштейн // Ферментная и спиртовая промышленность. - 1971. - №4. - С. 8-11. 9. Автоматическое управление етюрационной колонной / М. Л. Мандельштейн, В. Р. Сатановский, В. П. Грязнов, Ю. П. Богданов // Ферментная и спиртовая промышленность. - 1971. - №6. - С. 6-8. 10. Усовершенствованная

система автоматического регулирования (САР) в трехколонном брагоректификационном аппарате / М.Л. Мандельштейн, В.Р. Сатановский, Л.А. Аксельрод, Н.А. Самонова, П.И. Мотренко, А.П. Рыбаков, Я.А. Мирончук // Ферментная и спиртовая промышленность. - 1972. - №3. - С. 11-14. 11. Анисимов И. В. Автоматическое регулирование процесса ректификации. / И. В. Анисимов - М.: Гостоптехиздат, 1961. – 178 с. 12. Стабников В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта./ В. Н. Стабников - М.: Пищевая промышленность, 1969. - 456 с. 13. Анисимов И. В. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. / И.В. Анисимов, В. И. Бодров, В. Б. Покровский - М.: Химия, 1975. - 216 с. 14. Демиденко Н. Д. Моделирование и оптимизация теплообменных процессов в химической технологии./ Н. Д. Демиденко - М.: Наука, 1991. – 240 с. 15. Кафаров В. В. Основы массопередачи. / В. В. Кафаров - М.: Высш. школа, 1979. - 439 с. 16. Кафаров В. В. Системный анализ процессов химической технологии: Энтропийный и вариационный методы неравновесной термодинамики в задачах химической технологии. / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов, Э. М. Кольцова - М.: Наука, 1988. – 367 с. 17. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств. / Н. В. Остапчук– К.: Вища школа, 1991. - 340 с. 18. Чермак И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии./ И. Чермак, В. Петерка, И.Заворка - М.: Мир, 1972. – 622 с. 19. Циганков П.С. Ректификаційні установки спиртової промисловості / П.С. Циганков. - М.: Легка і харчова промисловість, 1984. - 336 с. 20. Шиян П.Л. Технологія спирту / В.О. Маріченко, В.А. Домарецькій, П.Л. Шиян, В.М. Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер. - Вінниця: Поділля-2000, 2003 - 496 с. 21. Іванчук В.В. Система автоматичного керування флегмове число ректифікаційної колони / В.В. Іванчук. - ПРТК-2012 р 2012 - С. 197-198. 22. Іванчук В. В. Автоматизована система управління браго ректифікаційною установкою непрямої Дії / В. В. Іванчук, В. М. Кутя. - К.: Наукові праці НУХТ, 2 013 - С. 14-18. 22. Спосіб автоматичного управління процесом ректифікації. Авт. свід. Україна №99430 . Бюл. 2015, №11. Авт.: В. В. Іванчук, В. В. Древецький.

Поступила в редакцію 08.12.2015р.

Рекомендували до друку: докт. техн. наук, проф. Заміховський Л. М., докт. техн. наук, проф. Карпаш О. М.