

4. **Партон В.З., Черепанов Г.П.** Механика разрушения / **В.З. Партон, Г.П. Черепанов** // Механика в СССР за 50 лет. – М.: Наука, 1972. – Т.3.
5. **Мосинец В.Н., Абрамов А.В.** Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / **В.Н. Мосинец, А.В. Абрамов** // – М.: Недра, 1982. – 248 с.
6. Исследование и разработка способа разрушения горных пород, основанного на взрывании скважинных зарядов в режиме малых замедлений: Отчет о НИР (заключительный) Криворожский горнорудный институт: № ГР 01890016602. Инв. № 029.00012891. Кривой Рог, 1989. – 55 с.
7. Исследование и разработка способа разрушения горных пород, основанного на взаимодействии зарядов ВВ с разными режимами детонации: Отчет о НИР (заключительный) Криворожский горнорудный институт: № ГР 0190U062479. Инв. № 029. 00222381. Кривой Рог, 1990. – 58 с.
8. **Тищенко С.В.** Ресурсосберегающая технология взрывного разрушения горных пород / **С.В. Тищенко** // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2003. - № 5. – С.73-74.
9. **Cherepanov G.P.** On the theory of fluidization, part I. General model. Ind. Enqng chemistry fundamentals 11. - № 1. – 1372.
10. **Griffith A.A.** The phenomenon of rupture and flow in solids. Phil. Trans. Roy. Soc. A 221, 1920, p.1201-1206.
11. **Moth N.F.** Fracture of metals. Theor. Conq. Enqng. 1948. V.1657 № 16. p.321-348.

Рукопись поступила в редакцию 26.03.16

УДК 681.51: 665.64

В.С. КАРДАШУК, канд. техн. наук, доц., К. АЛАХМАД УЛМОУ, здобувач  
Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, м. Сєверодонецьк

## ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ НАНОКАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЮ

У статті запропоновано модернізовану систему керування процесом каталітичного крекінгу вакуумного газойлю аерозольним нанокаталізом, що забезпечує максимальний вихід високоякісних бензинових і дизельних фракцій. Удосконалена система керування забезпечує формування керуючих впливів на основі інформації про зміну температури процесу, частоти вібрації реактора та витрат реагентів.

Технологія АНК має суттєві переваги перед іншими, так як дозволяє значно збільшити швидкість реакції у розрахунку до масової витрати каталізатора, суттєве зменшення його кількості та енергозатрат тощо.

У даний час основним напрямком досягнення високої інтенсифікації процесу каталітичного крекінгу є роботи пов'язані з модернізацією системи автоматизації реактора, спрощення його конструкції, вибору каталізатора та його геометричних характеристик, методів підготовки каталізатора а також принципів контактування каталізатора з вуглеводневими парами [2]. Якщо фізико-хімічні характеристики процесу крекінгу, як правило, є заданими попередніми технологічними процесами перероблення нафтопродуктів, то головними питаннями в процесі каталітичного крекінгу є наступні: принципи та способи контактування каталізатора з вторинною вуглеводною сировиною, системи забезпечення активності каталізатора за час перебування його в реакторі, оптимальний режим його роботи та ін.

Отже, актуальною є задача модернізація існуючої системи автоматизації керування процесом каталітичного крекінгу, розробки методів оптимального керування, які забезпечують отримання високоякісних бензинових і дизельних фракцій в умовах невизначеності параметрів.

**Ключові слова:** високоякісний бензин, каталітичний крекінг, дизельні фракції

**Постановка задачі.** Дослідження каталітичного крекінгу вакуумного газойлю в умовах АНК показало можливість збільшення швидкості реакції до 10 разів в розрахунку на реакційний об'єм, що викликає відповідне зменшення габаритів устаткування. Необхідна в умовах кількість каталізатору 2 г/м<sup>3</sup> реактору проти 300-700 кг/м<sup>3</sup> в гетерогенному каталізі викликає зменшення об'єму, необхідного для регенерації каталізатору майже в 2000 разів. Відповідні фактори на користь АНК потребують оригінального підходу щодо організації автоматичного керування технологічним процесом каталітичного крекінгу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Виробництво моторного палива є одним з важливих етапів при глибокій переробці нафтопродуктів і відрізняються значним енерго- та ресурсоспоживанням, що призводить до високої вартості готової продукції, а також збільшення затрат на переробку чи утилізацію відходів виробництва. У промисловій практиці одним з основних процесів переробки вторинної вуглеводної сировини є каталітичний крекінг. Зарубіжні фірми досягають високих показників ефективності глибокої переробки нафтопродуктів за рахунок використання нових нанотехнологій та оптимальних систем автоматизованого керування, до яких відноситься й аерозольний нанокаталіз (АНК) у віброзв'язаному шарі каталізатора та є принципово новим науково-практичним рішенням проблеми глибокого перероблення

нафтопродуктів [1]. Технологія АНК має суттєві переваги перед іншими, так як дозволяє значно збільшити швидкість реакції у розрахунку до масової витрати каталізатора, суттєве зменшення його кількості та енергозатрат тощо.

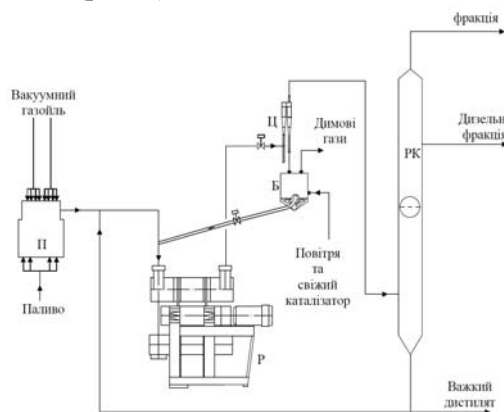
У даний час основним напрямком досягнення високої інтенсифікації процесу каталітичного крекінгу є роботи пов'язані з модернізацією системи автоматизації реактора, спрощення його конструкції, вибору каталізатора та його геометричних характеристик, методів підготовки каталізатора а також принципів контактування каталізатора з вуглеводневими парами [2]. Якщо фізико-хімічні характеристики процесу крекінгу, як правило, є заданими попередніми технологічними процесами перероблення нафтопродуктів, то головними питаннями в процесі каталітичного крекінгу є наступні: принципи та способи контактування каталізатора з вторинною вуглеводною сировиною, системи забезпечення активності каталізатора за час перебування його в реакторі, оптимальний режим його роботи та ін.

Таким чином, актуальною є задача модернізація існуючої системи автоматизації керування процесом каталітичного крекінгу, розробки методів оптимального керування, які забезпечують отримання високоякісних бензинових і дизельних фракцій в умовах невизначеності параметрів.

**Постановка задачі.** Дослідження каталітичного крекінгу вакуумного газойлю в умовах АНК показало можливість збільшення швидкості реакції до 10 разів в розрахунку на реакційний об'єм, що викликає відповідне зменшення габаритів устаткування. Необхідна в умовах кількість каталізатору  $2 \text{ г/м}^3$  реактору проти  $300\text{-}700 \text{ кг/м}^3$  в гетерогенному каталізі викликає зменшення об'єму, необхідного для регенерації каталізатору майже в 2000 разів. Відповідні фактори на користь АНК потребують оригінального підходу щодо організації автоматичного керування технологічним процесом каталітичного крекінгу.

**Рішення задачі.** Проведені попередні дослідження показали, що каталітична система в аерозольному нанокаталізі складається з диспергуючого матеріалу (ДМ) розмірами  $0,7\text{-}1,2 \text{ мкм}$  і порошку каталітично активної речовини (з початковими розмірами частинок до  $200 \text{ мкм}$ ). Під час роботи ці складові знаходяться у безперервному русі (механохімічна активація). За умови вібрації забезпечуються синтез наночасток різного розміру. Розміри частинок каталізатора в зоні реакції визначені на рівні  $8\text{-}100 \text{ нм}$ .

Для побудови промислової схеми автоматизації процесу каталітичного крекінгу в умовах АНК (рис. 1).



**Рис. 1.** Промислова схема процесу каталітичного крекінгу аерозольним нанокаталізом

Математична обробка результатів дослідження здійснювалась з метою визначення маси світлих нафтопродуктів і важкого залишку, маси газової фракції, густини фракції, швидкості реакції та подальшого використання при розробці програмного забезпечення системи автоматизації.

Маса світлих нафтопродуктів і важкого залишку визначалися в такий спосіб:

замірялася маса вакуумного газойлю;  
після завершення реакції, весь продукт збирався

в приймач;

продукти крекінгу піддавалися розгонці на розгінному апараті ULAB-1-42A: від температури початку кипіння  $180$  до  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

визначалася густина кожної фракції, для чого зважувався порожній пікнометр на аналітичних вагах, потім – пікнометр із фракцією й визначалась її щільність за формулою [3]

$$\rho_{\text{фр}} = \frac{m_{n+\text{фр}} - m_n}{V_n}, \quad (1)$$

де  $m_{n+\text{фр}}$  - маса пікнометра із фракцією, г;  $m_n$  — маса пікнометра, г;  $V_n$  - об'єм пікнометра, мл.

Маса газової фракції визначалася в такий спосіб:

за допомогою хроматографа визначались об'ємні відсотки кожного компонента газової фракції;

у подальшому розраховувався обсяг кожної речовини в газовій фазі за формулою

$$V_{\text{речовини}} = w_{\text{речовини}} V_{\text{заг.г.фр}} \quad (2)$$

де  $w_{\text{речовини}}$  - відсотковий вміст речовини в газовій фазі, %об.;  $V_{\text{заг.г.фр}}$  - загальний обсяг газової фракції, л.

Для математичного опису крекінгу нафтових фракцій використовувалась швидкість процесу по бензину). Швидкість реакції з урахуванням вібраційного впливу визначалась як [4]

$$W_{p-ни} = k \cdot C_{\text{сировини}} \cdot k_B = k_0 \cdot k_B \cdot C_{\text{сировини}} \cdot e^{\frac{-E}{RT}}, \quad (3)$$

де  $k_0$  - параметри вібрації, що враховують частоту  $f$ , амплітуду  $h$  та ін.

Проведені експериментальні дослідження показали, що на якісний склад вихідних продуктів процесу каталітичного крекінгу вакуумного газойлю в умовах АНК основний вплив чинять як тип каталізатора, так і частота коливань реактора, яка впливає на інтенсивність механохімічної активації та температура каталітичної системи в реакторі.

Існуючі системи керування рідинних реакторів, які працюють, наприклад, на Одеському та Антипінському НПЗ, не дозволяють реалізувати в повному обсязі усі особливості та переваги каталітичного крекінгу з використанням технології АНК. У зв'язку з цим запропонована наступна структурна схема автоматичної системи керування (АСК) реактором каталітичного крекінгу АНК (рис. 2).

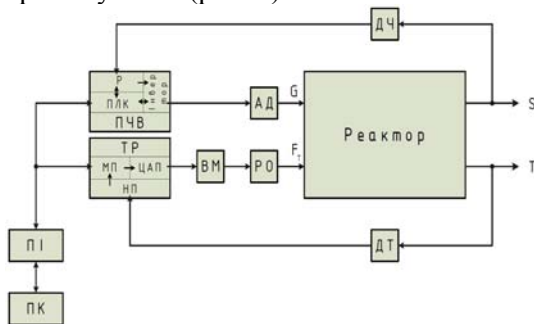


Рис. 2. Структурна схема запропонованої системи автоматизації керування реактором процесу каталітичного крекінгу аерозольним нанокаталізом

Основними параметрами, які підлягають стабілізації є частота коливань реактора  $S$  та температура в реакторі  $T$  [4,5].

Розроблено функціональну схему, рис. 3.

Технологічні параметри, які підлягають контролю: витрата каталізатору на вході у реактор; витрата газойлю на вході у реактор; частота коливань реактору; температура на виході з печі; температура у печі; температура на виході з печі; витрата газової суміші на вході у піч; витрата повітря на вході у піч.

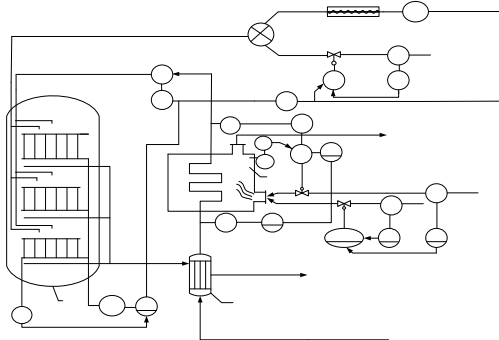


Рис. 3. Функціональна схема системи автоматизації керування реактором каталітичного крекінгу аерозольним нанокаталізом

Для визначення параметрів налаштувань регуляторів використаний експериментальний метод за кривими розгону (рис. 4,5) [6].

З аналізу кривої перехідного процесу зроблено висновок, що перехідний процес має аперіодичний характер. Час регулювання становить 45 с.

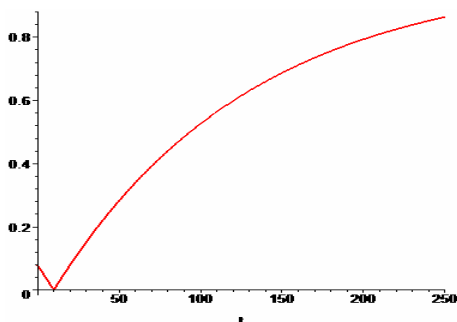


Рис. 4. Крива розгону еквівалентного об'єкту

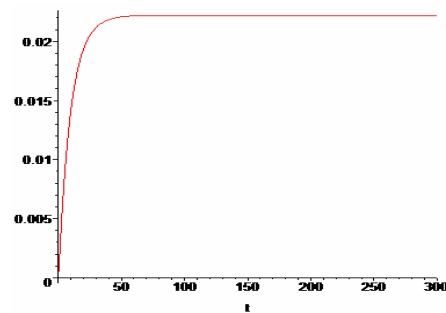


Рис. 5. Крива перехідного процесу для АСП

Всі сучасні SCADA-системи дозволяють створювати графічний інтерфейс, що полегшує діалог оператора з робочою станцією [123, 124].

Для розробки мнемосхеми комп'ютерно-інтегрованої системи керування реактором нанокаталітичної переробки нафтопродуктів використано інструментальний програмний комплекс Trace Mode.

На підставі розробленого програмного забезпечення, отриманих математичних моделей та експериментальних даних створено мнемосхему реактора нанокаталітичної переробки нафтопродуктів (рис. 6).



Рис. 6. Головний екран процесу

На головній мнемосхемі процесу відображено 4 апарати: реактор, піч, теплообмінник та ректифікаційна колона. Реактор аерозольного каталізу являє собою вертикальний циліндричний апарат колонного типу.

Піч нагріву (рис. 7) сировини відноситься до об'єктів керування з високою вибухо- та пожежебезпекою. Тому, з метою забезпечення безаварійної її роботи, використовують системи автоматичного блокування.

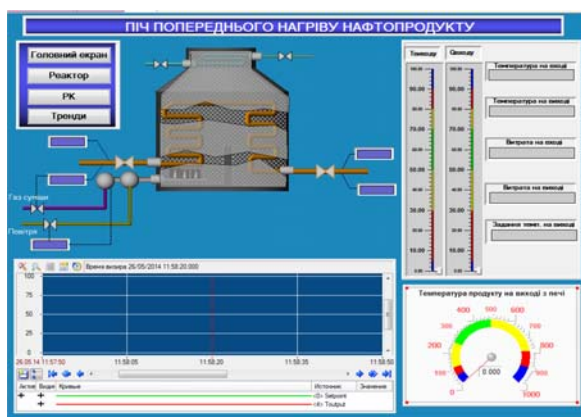


Рис. 7. Мнемосхема керування піччю

**Висновки.** В результаті модернізації удосконалено систему автоматизованого керування процесом крекінгу вакуумного газойля аерозольним нанокаталізом. На основі запропонованих методів та математичних моделей вдалося зменшити такт роботи системи до 250 мс. Збільшення виходу кінцевого продукту становить 9,8%, зменшення витрат електроенергії складало 12%.

Розроблена функціональна схема автоматизації та комп'ютерно-інтегрована система керування реактором каталітичного крекінгу аерозольним

нанокаталізом дозволяє з високою точністю підтримувати необхідний якісний склад вихідних продуктів каталітичного крекінгу та зменшити витрати теплоносіїв та електроенергії за рахунок використання сучасних засобів автоматизації.

В процесі дослідження системи керування розраховані оптимальні параметри налаштування регуляторів, побудовані частотні характеристики та крива перехідного процесу системи.

З графіка перехідного процесу можна зробити висновок, що характер процесу - аперіодичний. Час запізнення становить 60 с.

#### Список літератури

1. Гликин М.А. Аэрозольный нанокатализ. Изучение процесса крекинга высококипящих фракций нефти / М.А. Гликин, С. А. Кудрявцев, И. М. Глибина и др. // Хімічна промисловість України. – 2006. – № 1. – С. 24-29.
2. Каминский Э.Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э.Ф. Каминский, В.А. Хавкин – М.: Издательство «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2001. – 384 с.
3. Одабащян Г.В. Лабораторный практикум по химии и технологии основного органического и нефтехимического синтеза: Учеб. пособие для вузов / Г.В. Одабащян, В.Ф. Швец – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1992 – 240 с.
4. Кардашук В.С. Керування технологічним процесом аерозольного нанокаталізу у віброрідженому шарі в умовах стохастичної невизначеності / В.С. Кардашук // Стратегія якості в промисловості і освіті : матеріали V міжнародної конф., 6-13 черв. 2009 р., Варна, Болгарія : матеріали у 2-х т. – Дніпропетровськ, 2009. - Т. II. – С. 567 – 569.
5. Рязанцев О.І. Побудова математичної моделі технологічного процесу аерозольного нанокаталізу у віброрідженому шарі для організації керування / О.І. Рязанцев, В.С. Кардашук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2009. - № 6(136) . - Ч.1. - С. 274-279.
6. Стенцель Й. І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: Навч. посібник. — К.: ІСДО, 1995.-360 с.

Рукопис подано до редакції 26.03.16