

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний
університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний
Факультет



**Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології – 2019**

VI Міжнародна науково-практична конференція
молодих учених, аспірантів і студентів

АКІТ – 2019

м. Київ, 23–24 квітня 2019 року
Матеріали конференції



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет



Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2019

**VI Міжнародна науково-практична конференція
молодих учених, аспірантів і студентів**

AKIT – 2019

Київ, 23–24 квітня 2019 року

Матеріали конференції

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

УДК 66.01-52:004](062)
A22

A22 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2019 :
Матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів
і студ. (АКІТ – 2019), м. Київ, 23–24 квіт. 2019 р. / уклад. М. В.
Лукінюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»,
2019. – 145 с.
ISBN 978-966-622-941-3

Наведено матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, студентів і аспірантів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (АКІТ – 2019)», яка відбулася в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 23–24 квітня 2019 року. Висвітлено сучасні підходи та методи в автоматизації виробничих процесів, математичному моделюванні технологічних об'єктів, дослідженні та синтезі сучасних комп'ютерних систем керування.

Для науковців, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

УДК 681.2.08

Рекомендовано до друку Вченою радою
інженерно-хімічного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(Протокол № 3 від 25.03.2019 р.)

Відповідальний за випуск
А. І. Жученко, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ISBN 978-966-622-941-3

© Автори тез доповідей, 2019
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ІХФ), 2019



Кафедра автоматизації хімічних виробництв була створена на хіміко-технологічному факультеті КПІ наказом ректора О. С. Плигунова № 434 від 2 червня 1960 р. Згідно з наказом вона отримала назву «Кафедра теоретичних основ автоматики», її першим завідувачем став відомий спеціаліст з теорії автоматичного регулювання професор Корнілов Юрій Георгійович, автор першого в СРСР підручника з теорії автоматичного регулювання.

Колектив кафедри за короткий час створив лабораторну базу, займаючись одночасно підготовкою курсів лекцій і навчанням студентів. Викладачі кафедри читали курс теорії автоматичного регулювання на різних факультетах (ця традиція підтримується донині). Першими студентами кафедри були студенти хіміко-технологічного факультету, які висловили бажання отримати спеціальність «Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв». Через рік кафедру перейменували («Кафедра теоретичних основ автоматики і автоматизації хімічних виробництв»), а згодом вона отримала назву «Кафедра автоматизації хімічних виробництв» (кафедра АХВ).

Перший випуск інженерів, підготовлених кафедрою, відбувся 1963 року. Того ж року кафедра перейшла на факультет хімічного машинобудування КПІ. У подальшому кафедрі АХВ очолювали доцент М. Д. Ступак (1963–1964), професори Р. Я. Ладієв (1964–1977), Ю. О. Остапенко (1977–1984), В. С. Коваленко (1984–1990), М. З. Кваско (1990–2007). З січня 2007 року кафедрі очолює доктор технічних наук, професор Анатолій Іванович Жученко.

На кафедрі працюють 29 викладачів, серед яких 2 професори, 13 доцентів. У різні роки на кафедрі працювали відомі вчені – професори О. М. Крижанівський, А. З. Грищенко, В. М. Кунцевич.

За час існування кафедри підготовлено тисячі фахівців з автоматизації технологічних процесів (інженерів, спеціалістів, бакалаврів, магістрів), у тому числі сотні іноземців, виконано значний обсяг науково-дослідних робіт, результати яких впроваджено на десятках підприємств України та далеко за її межами. Викладачами та співробітниками кафедри видано понад 60 підручників, навчальних посібників, монографій, оприлюднено сотні наукових публікацій, отримано сотні авторських свідоцтв та патентів на винаходи.

Кафедрою проводиться підготовка бакалаврів за галуззю знань «Автоматизація та приладобудування», спеціалістів та магістрів за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Адреса кафедри: 03056, Київ, пр-т Перемоги, 37, корпус № 19;

телефони: (044) 454-96-70, 454-94-08;

e-mail: kaf_ahv@kpi.ua;

сайт: <http://ahv.kpi.ua>.

Щорічно у квітні проводяться Міжнародні науково-практичні конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ).

Матеріали конференцій друкуються у вигляді збірників, а також розміщуються на сайті кафедри АХВ.

MATHEMATICAL MODELING OF THE DIAGNOSTIC SYSTEM OF AN AUTONOMOUS GENERATOR

Aymen A. A., Zaichenko S. V.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, zstefv@gmail.com

The only solution to provide reliable power supply for petroleum industry is the use of power stations with internal combustion engines. The new reliable work of electrical equipment is a complex of diagnostic procedures for determining the technical condition and timely repair. At the heart of the diagnostic process is the receipt of experimental data, diagnostic features, which, depends on informativeness degree, determine the state of the subject under the study. The main reason for the power generating plants with internal combustion engines loss of the working state is the wear of a cylinder-piston group. For the diagnosis of internal combustion engines, which allows in most cases, by comparing the experimental data obtained with the normative ones, to establish a technical diagnosis, number of diagnostic methods are provided. One of the progressive methods that allows the diagnostics of the cylinder-piston group's airtightness is to measure compression using compressors and compressorsographs. The disadvantages of this method include the high workload associated with the engine disassembly and data inaccuracy.

The indicated drawbacks are deprived in diagnostic system of the internal combustion engine which use the level of the starter current as a diagnostic parameter [1, 2]. Application of this method allows to significantly increase the results informality and reliability with simultaneous reduction of labor costs. However, this method of diagnosing requires pre-set data on the currents and the voltage value of starter engines for its implementation, which significantly limits the application of this method, and makes it impossible in case of creation of new engines models.

The purpose of this study is to determine the inertial parameters of the system with the consideration of the complex motion of elements of a cylinder-piston group of a single cylinder internal combustion engine in the diagnosis without fuel supply by the starter current.

To predict the real inertial forces that occur with diagnosing of a power generating station internal combustion engines, a mathematical model that takes into account the effect of changing the reduced moment of inertia is developed. Established that the change in the reduced moment of inertia for one spin of the crankshaft is in the range of 0,8 %. Considering the insignificant influence of the variable component of inertia, the given moment of inertia of the system can be calculated without significant loss of accuracy only as a constant component.

Tymanyuk K. S. Development of an automated system for iterative control of the technical condition of an automobile engine system/ K. S. Tymanyuk, V. L. Kostenko // Technological audit and production reserves. – 2016. – № 12. – pp. 77–82. – ISSN 2226-3780.

Baboshin A. A. Development of a technique for integrated diagnostics of engines and devices for assessing the technical condition of the piston engine section / A. A. Baboshin, V. S. Malyshev // Herald of Murmansk State Technical University. – 2010. – V. 13. – № 4–2. – ISSN 1560-9278.

МЕТОД РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ВІДХИЛЕННЯ ВІД НОРМИ ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

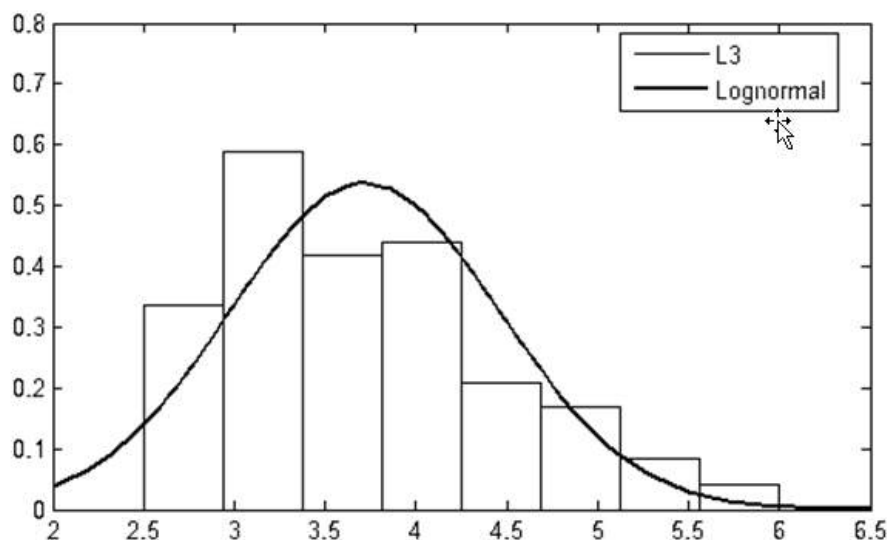
Зварич Д. М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, kafatp@ukr.net

Однією із ключових проблем автоматизації компримування природного газу є створення швидкодіючих автоматичних систем антипомпажного регулювання та захисту відцентрових нагнітачів. У зв'язку з цим задача дослідження коливань у проточній частині компресора та створення інформаційної технології раннього виявлення помпажу є актуальною, а її розв'язання дасть змогу захистити компресор від помпажу та підвищити надійність його роботи.

Оскільки оператори компресорних станцій краще сприймають графічне зображення поточних ситуацій, то запропоновано метод раннього виявлення відхилень процесу компримування газу від нормальних робочих характеристик, який ґрунтується на формуванні та аналізі фазових портретів показників помпажу та їхньому порівнянні з атракторами.

Як показник помпажу вибрано акустичний сигнал. Для даного інтервалу досліджуваного сигналу, скориставшись програмою Malab*, знаходимо математичне сподівання $M = 3,71$, дисперсію $D = 0,54$, середньоквадратичне відхилення $S = 0,74$. Для визначення закону розподілу та його перевірки за допомогою критерію Колмагорова поділили вибірку на інтервали та визначили їх абсолютні та відносні частоти. Далі скористалися програмою Distribution Fitting Tool і порівняли 7 законів розподілу – гамбеловський, експоненціальний, гамма, логнормальний, нормальний, релєєвський, рівномірний. Встановлено, що краще всього підходить логнормальний розподіл (рис. 1). Критичний рівень значущості для нього дорівнює 0,398.



* Дьяконов В. П. MALAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения: 2-е изд., перераб. и доп. / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 800 с. – Библиогр.: с. 776–779. – ISBN 978-5-91359-042-8.

Рис. 1. Закон розподілу для акустичного сигналу

Для побудови фазових портретів використали пакет Simulink програми MatLab (рис. 2) і модель для побудови фазових портретів.

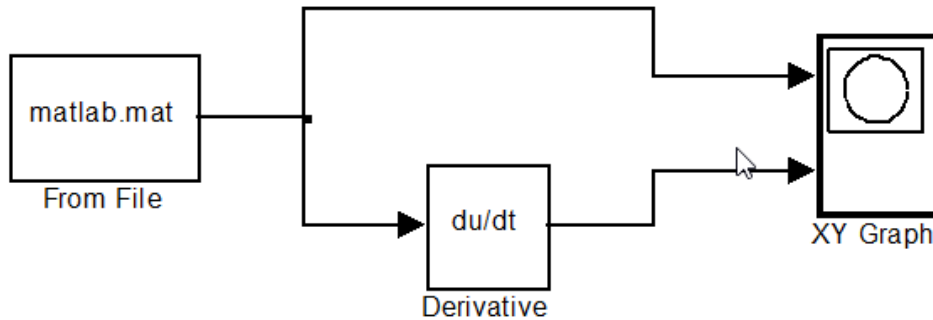


Рис. 2. Модель для побудови фазових портретів

Для полегшення виявлення помпажних явищ запропоновано використати аттрактор, за допомогою якого можна візуально спостерігати, коли фазовий портрет переходить в передпомпажний стан і «м'який» помпаж (рис. 3).

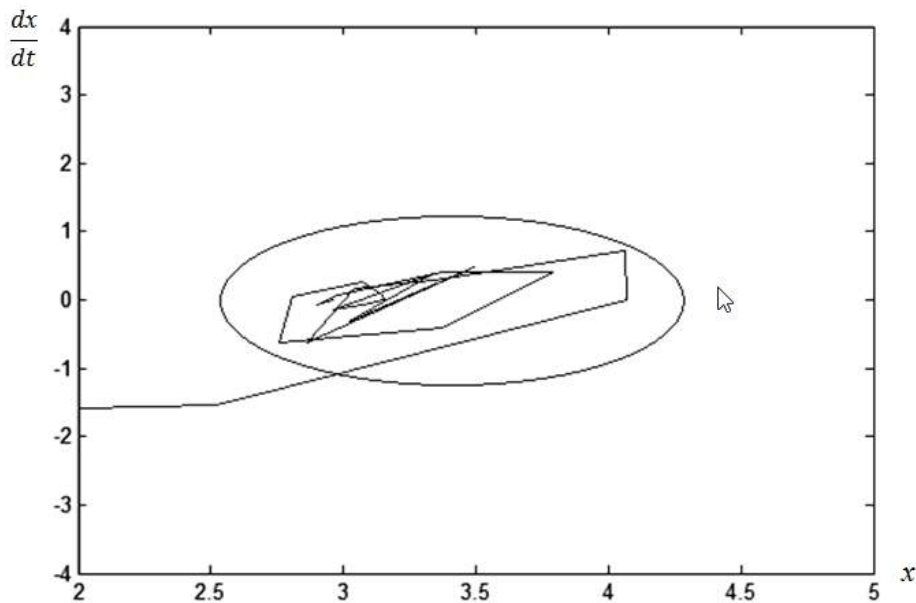


Рис. 3. Фазовий портрет і граничний цикл стаціонарного режиму роботи ГПА

Фазовий портрет, що побудований у координатах $\frac{dx}{dt} = f(x)$, де x – контрольований акустичний сигнал, порівнюється з аттрактором – еліпсом надійності $ax^2 + by^2 = 1$. Якщо поточні дані перебуває у межах аттрактора, то процес компримування газу класифікують як «норму». Якщо точка фазового портрета виходить за межі еліпса, то це є «передпомпажний стан» або «аномалія».

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КЕРУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ В БУРІННІ

Семенцов Г. Н.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, kafatp@ukr.net

Розглядається важлива науково-прикладна проблема створення систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні специфічними технологічними ризиками в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Ризики притаманні функціонуванню бізнес-сегменту *UPSTREAM* будь-якої нафтової компанії, що здійснює геологічну розвідку, буріння свердловин і видобування вуглеводнів. Кількість факторів ризику тільки у нафтогазовидобуванні вимірюється десятками. Це виробничо-технологічні, інформаційні, геологічні, економічні, екологічні та інші ризики. Деякі з них є спільними для інших промислових підприємств.

Проте, більшість факторів ризику властиві виключно окремим секторам бізнес-сегменту *UPSTREAM* і тому є специфічними. Особливу високу складність специфічних ризиків має технологічний процес буріння глибоких свердловин, зокрема, процес їхнього поглиблення. Слід відзначити, що процес поглиблення свердловин є невідтворюваним, розвивається у часі й здійснюється за умов апіорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта керування під впливом завад, недосяжних для вимірювань. Сьогодні поглиблення свердловин здійснюється алмазними і шарошковими долотами нового покоління, які забезпечують проходку на одне долото до 6000 м. Процес відпрацювання цих доліт відбувається під впливом різного типу завад з боку геосередовища за умов дефіциту інформації, а сам процес поглиблення є невідтворюваним нелінійним стохастичним нестаціонарним і таким, що здійснюється у часі в умовах поступового погіршення технічного стану породоруйнівного інструменту. Тому проблема керування специфічними ризиками, що викликані непередбачуваними змінами геосередовища та технічного стану породоруйнівного інструменту у процесі поглиблення свердловини (виявлення, [сигнальна] ідентифікація, оцінювання, розроблення методів контролю та заходів щодо мінімізації ризику), набула важливого самостійного теоретичного та прикладного значення. Вона є складовою частиною теорії та практики автоматизованого керування складними об'єктами, що функціонують в умовах підвищеного ризику і невизначеності, та набуває суттєвої актуальності для автоматизації буріння як галузі техніки, що динамічно розвивається.

Керування специфічними технологічними ризиками у бурінні має визначати шляхи та можливості забезпечення стійкості технічної системи, а також її здатності протистояти несприятливим змінам властивостей геосередовища і технічного стану породоруйнівного інструменту. У вітчизняних умовах ця проблема набуває важливого значення, оскільки існує нагальна потреба розробки методологічних засад ефективної автоматизованої системи інтелектуальної під-

тримки прийняття рішень для керування специфічними технологічними ризиками у таких складних технічних системах як буріння глибоких свердловин.

Оскільки цілісної теорії керування ризиками поки немає, практичне виявлення, ідентифікація та оцінювання ризиків у процесі буріння свердловин вимагає розроблення нових підходів, створення більш сучасних методів розрахунку, а головне – використання накопичених фактів (прецедентів) для керування ризиками. За умов високої ціни керувальних рішень, характерної для бізнес-сегменту *UPSTREAM*, розроблення стратегії системного забезпечення гарантованої безпеки функціонування такої складної технічної системи як процес буріння свердловин є актуальною і має бути орієнтовано на своєчасне виявлення, ідентифікацію, оцінювання й усунення можливих перед аварійних ситуацій на ранніх стадіях і забезпечення безаварійного поглиблення свердловини.

Оскільки розглядається група специфічних технологічних ризиків, що виникають у процесі поглиблення свердловин, то вважатимемо, що ризик – це певний фактор геосередовища або технічного стану породоруйнівного інструменту, який негативно впливає на процес, розвивається у часі й у результаті може призвести до ускладнення або аварійної ситуації, тобто до створення нештатної ситуації і, як наслідок, проблеми, яка заважатиме продовженню процесу поглиблення свердловини та призведе до суттєвих втрат, пов'язаних з ліквідацією її наслідків.

Ризики треба виявити та мінімізувати їхні наслідки до того, як вони почнуть впливати на процес поглиблення свердловини. Головною особливістю роботи зі специфічними технологічними ризиками у бурінні є їхня циклічність, тобто вони можуть повторюватися у наступних рейсах різних доліт.

Наукові результати, що отримані під час досліджень, є внеском у методологію побудови систем підтримки прийняття рішень для керування специфічними технологічними ризиками у процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Досліджено характеристики придатності методів оцінювання ризиків, що передбачені міжнародним стандартом, і когнітивних методів. Запропоновано математичну постановку задачі розпізнавання нештатних ситуацій у динаміці функціонування процесу буріння. Застосування цих методів обумовлено тим, що специфічні технологічні ризики у бурінні не формалізовано та має місце неточність і недостовірність, неповнота, невизначеність і суперечливість інформації в умовах апіорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта керування. Водночас для ефективного застосування методів *Fuzzy Neural Networks*-технологій немає потреби дотримання гіпотези про стаціонарність досліджуваних часових рядів або незмінність зовнішніх збурень. Вони дають змогу автоматично налаштовувати параметри моделей з урахуванням кількісних та якісних факторів ризику, а також враховувати взаємозв'язки різних видів специфічних технологічних ризиків.

РЕГУЛЮВАННЯ УСТАЛЕНОГО ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 кВ

Панов А. О.

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка, panovanton1994@gmail.com

Однією з ключових вимог до електропостачання є забезпечення якості електроенергії, під яким розуміють ступінь відповідності параметрів електричної енергії їх встановленим нормам. Якість електричної енергії може змінюватися залежно від часу доби, погодних умов, зміни навантаження енергосистеми, виникнення аварійних режимів мережі тощо.

Зниження якості електричної енергії може призвести до помітних змін режимів роботи електроприймачів і – в результаті – до зменшення продуктивності робочих механізмів, погіршення якості продукції, скорочення терміну служби електроустаткування, підвищення ймовірності аварій.

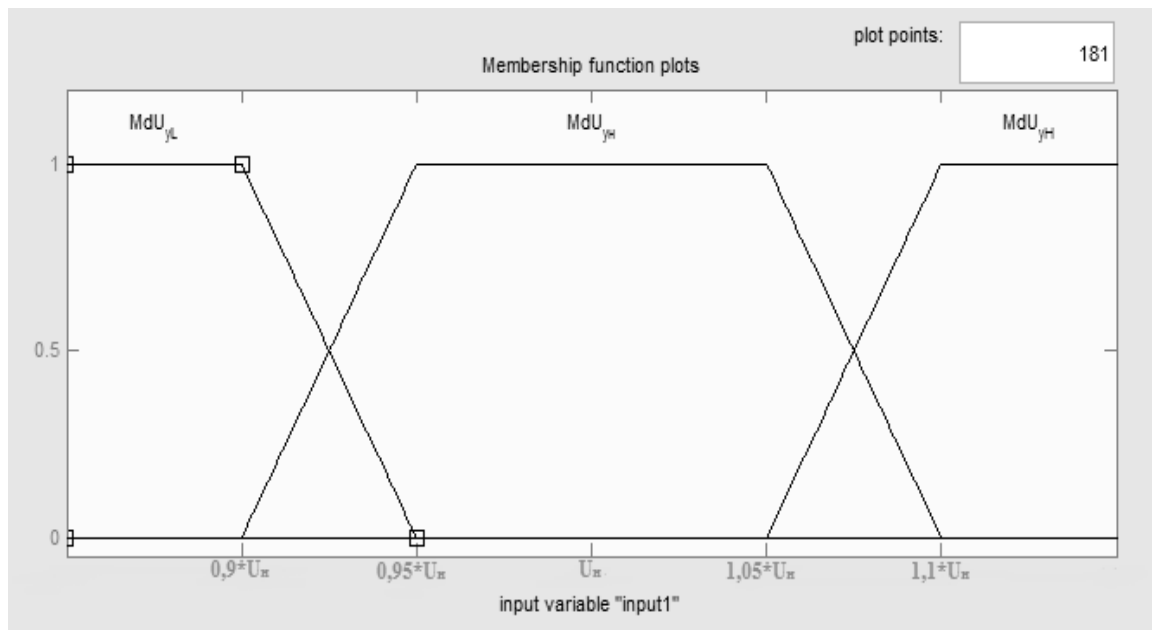
В Україні показники та норми якості електричної енергії в електричних мережах систем електропостачання загального призначення змінного трифазного й однофазного струмів частотою 50 Гц у точках, до яких приєднуються електричні мережі або електроустановки споживачів, встановлюються Міждержавним стандартом ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» [1].

Тому метою дослідження є регулювання усталеного відхилення напруги за рахунок підвищення ефективності роботи регулювальних пристроїв, таких як РПН (регулювання під навантаженням) і ВДУ (вольтододатковий пристрій), де підвищення ефективності роботи зазначених пристроїв виконується за допомогою нечітких алгоритмів керування.

Наявні системи керування РПН мають такі недоліки: висока вартість і обмежена кількість перемикачів, що знижує якість регулювання. Відомий пристрій для регулювання змінної напруги [2] не забезпечує захисту ключів від струмів коротких замикань, а в проміжних режимах роботи в мережі з'являються вищі гармоніки. Недоліком способу регулювання напруги, наведеного в [3], є те, що комутація проводиться по вторинній стороні силового трансформатора, де за значної потужності струм трансформатора досягає декількох тисяч ампер. Таким чином, кожен ключ буде складено з декількох паралельних тиристорів, що є економічно невигідним.

Для точного перемикачів положень і ефективної роботи пристрою РПН необхідно змінити алгоритмічну складову систем керування РПН. Алгоритм керування на основі нечіткої логіки розглядається як альтернатива переходу від аналогового керування до системи цифрового керування РПН. Моделювання такої системи проведено в інструментарії *Fuzzy Logic Toolbox*, що входить в пакет *MATLAB*. Функції приналежності для термів вхідних змінних зображено на рисунку.

Показник $M\delta U_{yn}$ встановлюється на основі вимог ДСТУ EN 50160:2010, а показники $M\delta U_{yL}$, $M\delta U_{yH}$ описують ступінь відхилення від цих вимог.



Функція приналежності для термів вхідних змінних:
 $M\delta U_{yL}$, $M\delta U_{yn}$, $M\delta U_{yH}$ – відповідність функції приналежності показника усталеного відхилення напруги номінального, низького та високого

Нижче наведено аналітичні види функцій приналежності, зображених на рисунку:

$$M\delta U_{yL} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{0,95U_n - U}{0,05U_n} \right\} \right\},$$

$$M\delta U_{yn} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{U - 0,9U_n}{0,05U_n}, \frac{1,1U_n - U}{0,05U_n} \right\} \right\},$$

$$M\delta U_{yH} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{U - 1,05U_n}{0,05U_n} \right\} \right\},$$

де U , U_n – усталене та номінальне значення напруги відповідно.

Ця модель ефективна тим, що керувальна команда може бути видана не за фактом порушення норм відхилення напруги, як це реалізовано в наявних системах, а заздалегідь, оскільки, як це видно з рисунка, функції приналежності термів перетинаються.

1. ДСТУ EN 50160 : 2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності [Текст] / Взамін ДСТУ EN 20160:2010. – Чинний від 10.01.2014. – К.: Мінекономрозвиток України, 2014. – 32 с.

2. Пристрій для регулювання змінної напруги [Текст] : а. с. 1257747 СРСР : МКІ H02J 3/18 / А. І. Дорошенко, В. А. Ніколаєнко, Ю. І. Елумахов (СРСР). – № 3848458/24-07; заявлено 24.01.85 ; опубл. 1986, Бюл. № 34.

3. Пат. 4733158 США, МКІ G05F 1/16. Control circuit for tapswitching power supplies and multitap transformers [Text] / Marchione Vito J., Brunelle James W. ; Datametrics Corp. – № 898713; Заявл. 21.08.86 ; опубл. 22.03.88 ; МКІ 323/258.

МЕТОД НАБЛИЖЕНО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Гавриш Б. А., Радюк Т. М., Коржик М. В., Лукінюк М. В.

КПІ імені Ігоря Сікорського, gbak19413@gmail.com

У керуванні технологічними об'єктами часто постає задача не просто керувати системою так, щоб забезпечити її роботу, а синтезувати оптимальний регулятор. Якщо мова йде про лінійні об'єкти, то зазвичай не виникає проблем зі знаходженням аналітичного рішення. Але під час дослідження нелінійних об'єктів не завжди можливо знайти оптимум аналітично. В таких випадках можна використовувати числові методи [1], але вони потребують складнішої техніки, ніж промисловий контролер. Хоч така техніка й наявна зараз, але вона доволі дорога через необхідний рівень захисту від пилу, вологи тощо. Через це постає задача знаходження таких методів оптимального керування складними об'єктами, які можна було б реалізувати за допомогою недорогої техніки.

Пропонується метод наближено оптимального керування для об'єктів із невеликою кількістю змінних, що характеризують початковий стан. Згідно цього методу, у n -вимірному просторі з осями, що являють собою змінні стану, вимірювані збурення тощо, обирається певна кількість точок, для яких знаходиться оптимальна траєкторія керування за допомогою числових методів.

За принципом оптимальності Беллмана [2] кожен відрізок оптимальної траєкторії є оптимальним відносно початкового (для себе) стану незалежно від всіх попередніх керувань. З цього випливає, що, якщо ми маємо оптимальні траєкторії керувань для множини початкових станів, то можемо відкинути всі керування в траєкторіях, окрім перших, та апроксимувати отримані дані. В результаті будемо мати функції, за якими зможемо розрахувати перше керування в оптимальній траєкторії, виходячи з поточного стану об'єкта. Коли стан об'єкта зміниться, розрахуємо керування для нового стану. В результаті цього об'єкт буде рухатись по оптимальній траєкторії. Це, фактично, програмне керування, але можна дізнаватись поточний стан об'єкта, не розраховуючи математичну модель, а з датчиків. Таким чином, ми підвищимо точність, враховуючи стохастичні процеси об'єкта за рахунок зворотного зв'язку.

Структуру системи наведено на рис. 1.

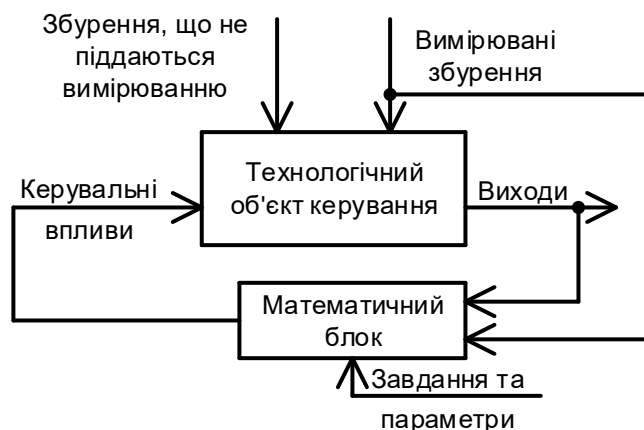


Рис. 1. Структурна схема пропонованої системи керування

Структурно пропонується система керування аналогічна гібридній системі керування за збуренням та відхиленням. Відмінністю є те, що замість регуляторів використовується математичний блок (контролер), який виконує арифметичні операції та подає керувальні впливи.

Параметрами, що подаються у математичний блок, можуть виступати вагові коефіцієнти, перемикання режимів роботи тощо. Вони можуть змінюватись як безпосередньо з меню контролера, так і з системи диспетчеризації.

Для того, щоб процес протікав не асимптотично, а виходив на заданий рівень, пропонується використовувати кілька наборів функцій для обрахунку керувань, вибір між котрими буде обґрунтовуватись відхиленнями виходів від завдань. Набори функцій будуть різнитись часом, що використовувався для знаходження множини оптимальних керувань як час перехідного процесу. Останній набір має бути обрахований для досягнення заданого стану за один крок керування. Завдяки цьому процес не буде нескінченно розтягуватись. Схематично це зображено на рисунку 2.

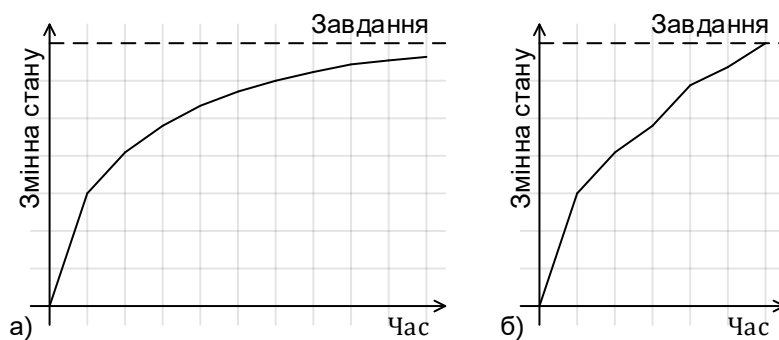


Рис. 2. Схематичне зображення перебігу процесу:
а) за однієї функції обрахунку керувань; б) за кількох функцій обрахунку керувань, остання з яких розрахована для одного кроку керування

Обрахунок оптимальних керувань числовими методами потребує часу, але одноразово, а отримані залежності можна запрограмувати у звичайний промисловий контролер, що дозволить не витрачати кошти на більш складну техніку, але при цьому реалізувати наближено оптимальне керування. До того ж, ці обчислення не вимагатимуть великої кількості часу, тому запропонований метод можна використовувати на малоінерційних об'єктах.

1. Рейзлин В. И. Численные методы оптимизации [Текст]: учебное пособие / В. И. Рейзлин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 105 с. : ил. – Библиогр.: с. 102. – 100 экз.

2. Беллман Р. Динамическое программирование [Текст]: монография / Р. Беллман ; пер. с англ. И. М. Андреевой, А. А. Корбута, И. В. Романовского, И. Н. Соколовой ; Под ред. Н. Н. Воробьева. – Москва: Издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с. : ил. – Библиогр.: в конце глав.

СХЕМА КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ДВОКАНАЛЬНОГО ФАЗИ-КОНТРОЛЕРА

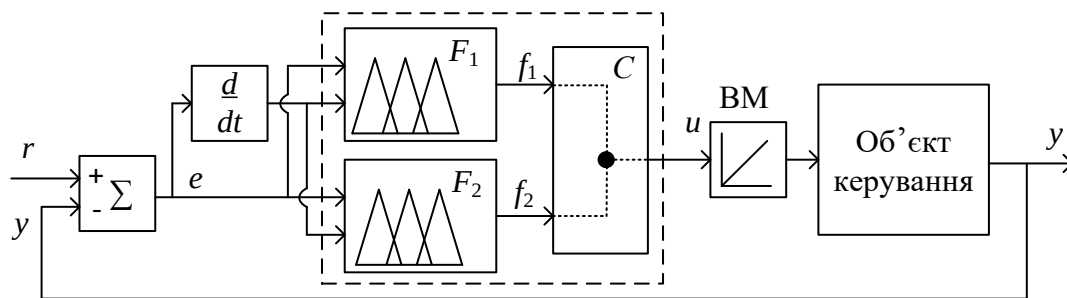
Ковриго Ю. М., Новіков П. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, rezengan@ukr.net

На сучасному етапі розвитку енергетики України є актуальним модернізація енергоблоків діючих ТЕС, що працюють в маневрових режимах, з метою підвищення їх ефективності та надійності функціонування, введення більш точного регулювання навантаження енергоблоків для покращення якості електроенергії та стійкості загальної енергосистеми.

Об'єкти регулювання ТЕС у більшості випадків змінюють свої параметри як у межах доби (у разі зміни навантаження енергоблока), так і під час тривалої експлуатації (фізичне зношування, технічна модернізація тощо) [1]. Визначення меж такої нестаціонарності для працюючого обладнання, в багатьох випадках, є практично нездійсненною задачею [2]. Описана нестабільність динамічних характеристик енергоблока створює серйозні проблеми, пов'язані з ефективним використанням автоматичних регуляторів в умовах роботи енергоблока в широкому діапазоні навантажень. Як розв'язання зазначеної задачі розглядається схема керування, побудована на основі нечіткої логіки. База правил нечіткого контролера укладається, виходячи із попереднього досвіду керування, оператором цільового об'єкта. Це дозволяє врахувати всі особливості об'єкта керування (враховуючи параметричну нестаціонарність) для вироблення керувального впливу.

Під час керування технологічним процесом у ручному режимі оператор користується обмеженим набором технічних засобів. За наявності виконавчих механізмів постійної швидкості органами керування виступають кнопки «більше/менше» для формування імпульсів додатної та від'ємної полярності. У разі відхиленні параметра у від заданого значення r оператор здійснюється керувальний вплив у вигляді імпульсу певної тривалості. Між завданням імпульсних керувальних впливів оператор витримує паузу, яка для інерційних теплових об'єктів може вимірюватися хвилинами. Таким чином, оператор-технолог у режимі ручного керування перебігом технологічного процесу оперує двома основними параметрами: тривалістю керувальних імпульсів і тривалістю пауз. Співвідношення тривалості цих змінних визначає результативний керувальний вплив на об'єкт. Описаний спосіб керування може бути реалізований за допомогою двоканальної структури керування, зображеної на рисунку.

В даній схемі як вхідні змінні двоканального *fuzzy*-контролера розглядаються сигнал неузгодженості e і похідна сигналу неузгодженості за часом de/dt . Відповідно для кожного з блоків нечіткої логіки визначено діапазони вхідних змінних і розділено кожен з діапазонів на лінгвістичні терми. Для реалізації послідовностей цих імпульсів і пауз використовувалися два різних блоки нечіткої логіки F_1 і F_2 , причому вони мають бути включені в схему керування паралельно та працювати почергово.



Двоканальна структура системи керування на базі двоканального *fuzzy*-контролера

Звідси випливає двоканальна структура *fuzzy*-контролера, перший канал якої відповідає за вироблення керувального впливу, тобто формування імпульсів, а другий канал працює як «заборона» на подачу керувального впливу, тобто формування пауз. Узгодження між роботою двох каналів відбувається в блоці комутації *C*. Кожен момент часу обидва *fuzzy*-блоки виробляють тривалість імпульсу/паузи (f_1 та f_2 відповідно) залежно від набору вхідних змінних і баз правил, які в них закладено. Блок комутації сигналів *C* опитує той-то канал, знімаючи числове значення з виходу опитуваного *fuzzy*-блоку. Це числове значення є тривалістю імпульсу або паузи (залежно від опитуваного каналу), після чого зв'язок між блоком комутації та *fuzzy*-блоками розривається. Блок комутації знову опитає інший *fuzzy*-блок після того, як спливе час, що дорівнює числовому значенню, знятому з попереднього блока. Послідовність імпульсів *u* надходить на виконавчий механізм (ВМ), який є інтегрувальною ланкою.

Порівняльне дослідження роботи двоканального нечіткого контролера та ПД-регулятора показало, що для каналу збурення динамічне відхилення в схемі з двоканальним нечітким контролером складає 12,3 °С – це на 18,7 % менше ніж у схемі з ПД-регулятором, час регулювання становить 1050 с, що на 330 с менше ніж з ПД-регулятором.

Описана структура двоканального *fuzzy*-контролера може використовуватися для зниження коливальності й організації процесу керування, близького до ручного керування досвідченим оператором-технологом. Описана двоканальна структура дозволяє органічно реалізувати такий спосіб керування, за якого всі значення керувального впливу відповідають певним етапам перехідного процесу (розгону, гальмування, корекції).

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, В. В. Кравченко и др. ; под ред. Г. Т. Кулакова. – Минск: Высшая школа, 2017. – 238 с.: ил. – Библиогр.: с. 234–235. – ISBN 978-985-06-2800-8.

2. Коновалов М. А. Основы новой стратегии синтеза систем оптимального управления / М. А. Коновалов, А. С. Бунке. – К.: Феникс, 2014. – 280 с: ил. – Библиогр.: с. 267–269. – 100 экз. – ISBN 978-966-136-215-3.

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНА СИСТЕМА КОТРОЛЮ МЕРЧАНДАЙЗИНГУ

Сазонов А. Ю., Рудюк М. С.

Житомирський Державний Технологічний Університет, maksym.rudiuk@gmail.com

Мерчандайзинг є інструментом управління продажем товарів і включає в себе розробку товарної політики, формування зв'язків постачання товарів для роздрібної торгівлі, управління запасами товарів та їх асортиментом, організацію їх розміщення, коректності викладання та обслуговування покупців на торговельних площах.

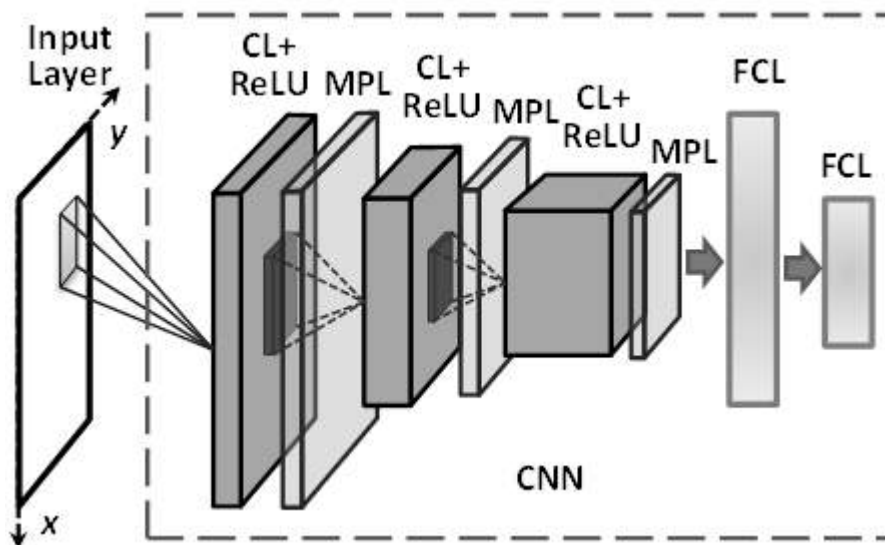
Проте, у сучасний період перевірка якості мерчандайзингу з боку осіб, які контролюють виробника, або від дистриб'ютора продукції виконується шляхом ручного заповнення звітів про наявність асортименту товарів у паперовому чи електронному вигляді. Такий метод контролю має ряд суттєвих недоліків, першим з яких є суб'єктивний людський фактор: неякісне виконання своїх професійних обов'язків мерчандайзерами та відповідальними особами точок продажу не дозволяє отримати актуальну інформацію про наявність товару в точках продажу та відповідність планограми заданому асортименту – цим ускладнюється процес планування продажу. Для здійснення безперервної торгівлі шляхом постачання товарів мерчандайзер або уповноважені особи магазину повинні формувати асортиментні картки (*Store Check*), на основі яких вони формують взаємовідносини з постачальними товарів (строки й обсяги поставок). Помилки в плануванні стратегії мерчандайзингу можуть завдавати підприємству доволі високих збитків. Тому задача контролю якості мерчандайзингу потребує залучення комп'ютерних технологій для автоматизації планування, оцінювання та прогнозування стратегії мерчандайзингу.

Аналіз відомих натеper рішень демонструє стрімкий рух у напрямку вирішення зазначених проблем шляхом впровадження систем *GPS*-трекінгу, систем збору фотоінформації, заповнення електронних форм та подальше використання інформації в різних бізнес-стратегіях. Один із недоліків проаналізованих систем – відсутність засобів візуальної інформації, що надходить безпосередньо з торгових точок.

Для якісного та швидкого розв'язання поставленої задачі необхідним є використання елементів штучного інтелекту, а саме нейромереж (*Neural Network*) та технології глибокого навчання (*Deep Learning*). Для якості та швидкості детектування, класифікації та сегментації візуальної інформації, тобто фотознімків, перевагу надано використанню згорткових нейромереж (*Convolution Neural Networks* – *CNN* або *Deep Convolution Network* – *DCN*), загальну архітектуру яких зображено на рисунку.

CNN складається зі згорткових шарів (*Convolutional Layer* – *CL*), пов'язаних шарів (*Fully Connected Layer* – *FCL*) та так званих субдискретизувальних шарів (*Pooling Layer*). Кількість згорткових та субдискретизувальних шарів залежить від архітектури *CNN* та від глибини нейромережі. Загальна послідовність розташування шарів нейромережі наступна: *input layer*, *CL*, *FCL* (див.

рисунок). Після кожного *convolutional layer* використовується *pooling layer*. Як функція активації використовується *ReLU* та *softmax* (лише у вихідному шарі). В *CL* виконується операція згортки з ядром заданого розміру, коефіцієнти якого і є тренованими параметрами (*Trainable params*) нейромережі. *Pooling layer* виконує субдискретизацію вихідних даних згортки за принципом найбільшого значення в ядрі (*Max Pooling – MPL*). *CL* і *MPL* характеризуються такими параметрами як розмір ядра (*kernel size*), відступ (*padding*) та крок (*strides*) які визначають кількість тренованих параметрів нейромережі.



Загальна структура CNN

Контроль наявності асортименту товарів здійснюється шляхом отримання візуальної інформації шляхом використання мобільного додатку торговим агентом. Отримана знімки надсилаються на сервер. Далі асинхронний процес – *worker*, який ініціалізується з надходженням зображень, викликає процес нейромережевої обробки вхідної інформації. Результатом роботи останнього є інформація про наявність тієї чи іншої асортиментної позиції на зображенні. Ці операції виконуються ітераційно, в циклі. Отримана інформація надсилається до модуля формування звітів і записується в базу даних на сервері. Для зручного перегляду звітів використовується веб-додаток, який через *REST API* (*Representational State Transfer Application Programming Interface*) отримує інформацію із серверу та представляє її у зручному для аналізу графічному вигляді.

Напрямами подальших досліджень є вдосконалення програмно-алгоритмічного забезпечення, а саме підвищення точності нейромережі, впровадження модульної структури для додавання бізнес-процесів, вдосконалення графічного представлення звітної інформації для поліпшення концентрації та продуктивності користувача, горизонтальне та вертикальне масштабування системи відповідно до отриманого навантаження.

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ДЛЯ МЕТОДА ВЫБОРА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НЕДИСПЕТЧЕРИЗУЕМЫХ ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

Максимов М. М., Давыдов В. О.

Одесский национальный политехнический университет, davydov@onu.ua

Сегодня одним из главных факторов, определяющих уровень развития общества, является величина удельного потребления энергии на душу населения. В 2018 году лидерами потребления были Исландия – 51440 кВт·час/год, Норвегия – 25175 кВт·час/год и Кувейт – 18320 кВт·час/год. Украина в этом плане существенно отстает от лидеров (3662 кВт·час/год).

В принятой в 2017 году энергетической стратегии Украины на период до 2035 года одним из инструментов, гарантирующих энергобезопасность страны, планируется сделать возобновляемую энергетику. В частности, к 2035 году планируется увеличить долю электроэнергии вырабатываемой на возобновляемых источниках до 25 %.

Стоит отметить, что бездумное неконтролируемое введение в энергосистему недиспетчеризуемых возобновляемых источников энергии (НВИЭ) может разрушить эту систему. «Классическими» примерами стали Южная Австралия, Калифорния, Дания и Германия [1], где рост доли НВИЭ привел к уничтожению электростанций, работающих на ископаемом топливе. В свою очередь, роль балансировки энергосистемы была переложена на плечи соседей, а стоимость электроэнергии стала существенно выше первоначального уровня.

Мировой опыт показывает, что при увеличении доли НВИЭ до 45 % расходы на балансировку энергосистемы увеличиваются на 50 %. При этом эффект от перехода к «чистой» энергетике сводится к нулю. Сегодня энергетическая стратегия Украины планирует осуществлять балансировку в основном за счет подключения к единой европейской энергосистеме, а к чему это может привести видно на примере рассмотренных выше стран.

За первые три квартала 2018 года в Украине были введены в эксплуатацию электростанции суммарной мощностью 430 МВт [2]. При этом пропорция недиспетчеризуемых и диспетчеризуемых источников энергии составляет 96:4. Если подобная тенденция сохранится, то в конечном итоге энергосистему Украины ждет крах.

Каковы бы ни были аргументы в пользу развития НВИЭ, реальность такова, что для балансировки энергосистемы необходимы дополнительные диспетчеризуемые источники энергии и/или аккумуляторы.

В 2017 компания Tesla построила в Австралии аккумуляторную батарею на 100 МВт·час. За полтора года она окупил затраты на свое строительство в 50 000 000 \$. С другой стороны, производство литий-ионных аккумуляторов связано с существенными выбросами углекислого газа, а технологии утилизации хотя в принципе и существуют, пока еще не доведены до коммерческого использования.

В Украине с ее развитым сельским хозяйством существуют все предпосылки для развития электростанций работающих на биомассе. Основная проблема в данном случае – это наличие сырья. Рано или поздно возникнет необходимость балансировать энергосистему электростанциями использующими ископаемое топливо. В свою очередь, это подразумевает сопутствующие затраты на решение экологических проблем.

В итоге возникает стратегическая необходимость в частичном или полном дублировании НВИЭ диспетчеризуемыми источниками энергии. Только такой подход позволит гарантировать энергетическую безопасность. Как следствие он должен привести к появлению развитой сети «балансируемых» электростанций. При этом возникнет задача снижения общих расходов и оптимизации процесса управления такими станциями. Очевидно, что это будет связано с необходимостью управления структурой балансируемых мощностей, а критерий оптимального управления должен будет учитывать затраты на соответствие экологическим нормам.

Очевидно, что существующие критерии не позволяют учесть экологическую составляющую технологического процесса.

Потенциально это можно реализовать двумя путями. Первый – рассмотрение комплекса энергетического и денежного КПД на подобие ошибок первого и второго рода в задачах идентификации. Второй путь – вывод функций преобразования в рамках рассматриваемого процесса, энергетических показателей в денежный эквивалент и наоборот. Идеальный вариант – вывод функции расчета эксергии денежного потока.

Особенность второго подхода в том, что он весьма относителен, так как привязан к конкретной технологии очистки отходящих газов. Как показал экономический и энергетический анализ [3], энергозатраты на извлечение CO_2 колеблются в диапазоне от 110 до 2485 кДж/моль CO_2 . Энергетическая эффективность извлечения оксидов азота колеблется от 4 до 28 г $\text{NO}_x/\text{кВт}\cdot\text{ч}$.

Но какой бы из подходов ни был реализован, оба они дают возможность оптимизации процесса балансировки сложной распределенной энергетической системы.

1. Безгин С. Как убить единую энергетическую систему: ВИЭ и энергосистемы [Электронный ресурс] / REGNUM – 2018. – Режим доступа: <https://regnum.ru/news/2404081.html>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова рос.

2. Лавникевич Д. Газ не из трубы. Как биогазовые установки способны гарантировать сразу три безопасности [Электронный ресурс] / Деловая столица. – 2018. – Режим доступа: <http://www.dsnews.ua/agro/gaz-ne-iz-truby-kak-biogazovye-ustanovki-sposobny-garantirovat-11122018110000>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова рос.

3. House K. Z., Baclig A. C., Ranjan M., van Nierop E. A., Wilcox J., Herzog H. J., (2011) Economic and energetic analysis of capturing CO_2 from ambient air [Text] / PNAS, 108 (51) 20428-20433; <https://doi.org/10.1073/pnas.1012253108>.

MODEL OF DETERMINATION OF LEVEL OF STUDENTS' KNOWLEDGE TO SOLVE MEDICAL TASKS IN INTERACTIVE MODE

Batyuk L. V., Chovpan H. O.

Kharkiv National Medical University, liliya-batyuk@ukr.net

The characteristic feature of the doctor's memory is that the general quantity of the reproduced information is smaller than the quantity of the perceived information. Decision making models in the sciences and literature, applicable to the technology contexts range from references decision maker in the context "What Do I Do?" to examples of complicated model n in textbooks of technology education and journals. Besides, in distinction from technical devices in the human's memory in the process of fixation, storage and reproduction, the information loss always takes place while in a technical storage device these quantities are constant. Medicine is the non-structured knowledge which creates serious difficulties for the process of decision-making. The speed of the decision-making depends on the qualification and diagnostic "feeling" of a doctor also on the peculiarities of the disease manifestation from a concrete patient. In some cases which are characterized by classical manifestations of diseases, a final decision appears after special research [1]. As known the integrating decision making within Medical Informatics in technology contexts ITEA reviewed the issue of an integrated curriculum. As envisioned by the standards the medical informatics are presents opportunities to study of technology and apply and integrate knowledge from many subject areas – not just mathematics, science, and computer classes, but also the medicine and liberal arts.

The decision model was developed based on research about observations of student's input level of knowledge on basic subjects in medical schools, which is a testing system designed to assess residual knowledge of students in English in medical universities [2]. The model proposed here for decision-making reflects the significance of language, and thereby culture, and ethics of students and knowledge in the framework of the English course, elementary mathematics, algebra and analysis and also the major sections of the school physics course. The model is interactive. The constraints and resources are constantly changing while the decision making process of students are repeated, mirroring the way decisions reoccur and compete within our environments. Working with the medical informatics system and decision model, the teacher must be prepared for increased emphasis on individual responsibility for making informed decisions in the in the process of explaining to a student a study material. Our model to help a students of medical university to set a task on the tight schedule, analyze aims, provide with possible means, to choose the required information (characterizing the condition of the decision-making and influencing the choice of criteria and restrictions) and ideally obtain the expression which connects the aim with the means.

1. Батюк Л. В. Вибір по ROC-кривим вирішувальних правил для діагностичних тестів / Л. В. Батюк // Вісн. Харк. нац. ун-ту. Сер. «Біофізичний вісник», 2015. – № 33 (1). – С.68–72. – Бібліогр.: с. 71–72. – ISSN 2075-3810.

2. Човпан Г. О. Засоби поліпшення роботи зі студентами з англійською мовою навчання у медичних вузах України залежно від вхідного рівня знань та країни-донора / Г. О. Човпан, І. С. Човпан, Л. В. Батюк, В. Г. Кнігавко // Медична освіта. – 2017. – № 1 (73). – С. 47–51. – DOI: 10.11603/me.2414-5998.2017.1.7439.

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОГО ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Чернега Р. М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, romanch52777@gmail.com

Цифрові алгоритми управління є найважливішою складовою частиною програмного забезпечення мікропроцесорних контролерів і керувальних обчислювальних машин (КОМ). КОМ здійснює опитування сигналів з давачів, обчислює значення керувальних сигналів за заданим законом регулювання, а потім видає їх на виконавчі механізми. Період опитування змінюється залежно від динамічних параметрів процесу в межах декількох десятків секунд [1].

Натепер спостерігається тенденція витіснення аналогових систем керування цифровими. Пояснюється це широкими можливостями за реалізацією найдосконаліших алгоритмів регулювання, що, у свою чергу, гарантує отримання високої точності та хорошої швидкодії у замкнутій системі безпосереднього цифрового керування [2].

Найпоширенішими алгоритмами є ПІ- та ПІД-алгоритми цифрового керування. За правильного налагодження ці алгоритми забезпечують достатньо хорошу якість регулювання для більшості об'єктів промислових технологій.

Розглянемо процедуру отримання алгоритму цифрового ПІД-регулятора з відповідного закону, що має вигляд

$$U(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i \int_0^t e dt} + T_d \frac{de}{dt} \right),$$

де $e = y - y_{\text{зад}}$ – похибка регулювання.

Запишемо рівняння у кінцевих різницях, шляхом зміни $e = kT_k$

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{1}{T_i \sum_{i=0}^k e(i)T_k} + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_k} \right],$$

де $k = 1, 2, 3 \dots$ – номер періоду квантування; T_k – величина періоду квантування.

Відзначимо, що при достатньо малих періодах квантування цифровий ПІД-закон регулювання забезпечує майже таку ж якість процесів керування, що і початковий безперервний закон.

На практиці замість обчислень абсолютних значень керувального сигналу зручніше обчислювати його прирости на кожному такті. У такому разі стає можливим використовувати цей алгоритм для керування об'єктами, оснащеними як пропорційним так і інтегруючими виконавчими механізмами. В результаті одержуємо так званий швидкісний алгоритм керування, повністю еквівалентний початковому

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) = \\ &= K_p \left[e(k) - e(k-1) + \frac{T_k}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T_k} [e(k) - e(k-1) - (e(k-1) - e(k-2))] \right], \end{aligned}$$

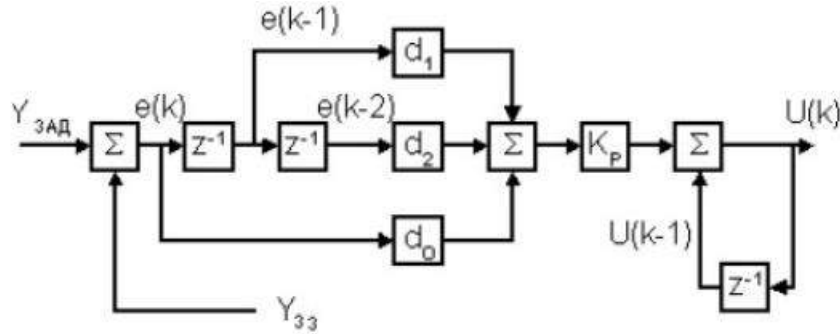
або, звівши подібні члени, отримаємо

$$u(k) = u(k-1) + K_p(d_0 e(k) + d_1 e(k-1) + d_2 e(k-2)),$$

де

$$d_0 = 1 + \frac{T_k}{T_i} + \frac{T_d}{T_k}, \quad d_1 = -1 - 2\frac{T_d}{T_k}, \quad d_2 = \frac{T_d}{T_k}.$$

Структурну схему цифрового ПІД-регулятора наведено на рисунку, де через Z^{-1} позначено блок затримки сигналу на один період квантування.



Структурна схема швидкісного ПІД-регулятора

Алгоритм роботи всієї системи керування при використанні цифровій моделі об'єкта матиме вигляд:

$$y(k) = ay(k-1) + b_1 u(k-1-M) + b_2 u(k-2-M),$$

$$e(k) = Y(k) - Y_{\text{вз}},$$

$$u(k) = u(k-1) + K_p[d_0 e(k) + d_1 e(k-1) + d_2 e(k-2)],$$

$$y(k-1) = y(k),$$

$$e(k) = e(k-1) = e(k-2),$$

$$u(k-2-M) = u(k-1-M),$$

$$u(k-1) = u(k).$$

При цьому параметри цифрової моделі керованого об'єкта в координатах «вхід-вихід» визначаються шляхом знаходження модифікованого Z -перетворення від передавальної функції об'єкта першого порядку із запізнюванням, що приводить до наступних формул:

$$a = \exp\left(-\frac{T_k}{T}\right), \quad b_1 = k(1 - a^{1-c}), \quad b_2 = k(a - a^{1-c}),$$

де $\frac{\tau}{T_k} = Mc$; M, c – ціла та дробова частини відношення відповідно.

1. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості [Текст]: навч. посіб. / Г. Н. Семенов, Я. Р. Когуч, Я. В. Куровець, М. М. Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с. – Бібліогр.: с. 295–299. – 100 пр.

2. Автоматизація неперервних технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості [Текст]: навч. посіб. / М. І. Когутяк, Р. М. Лещій, М. М. Дранчук, М. В. Шавранський. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – 286 с. – Бібліогр.: с. 256–257. – 150 пр.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ НАЛАГОДЖЕННЯ КООРДИНУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Гурський О. О., Гончаренко О. Є., Дубна С. М.

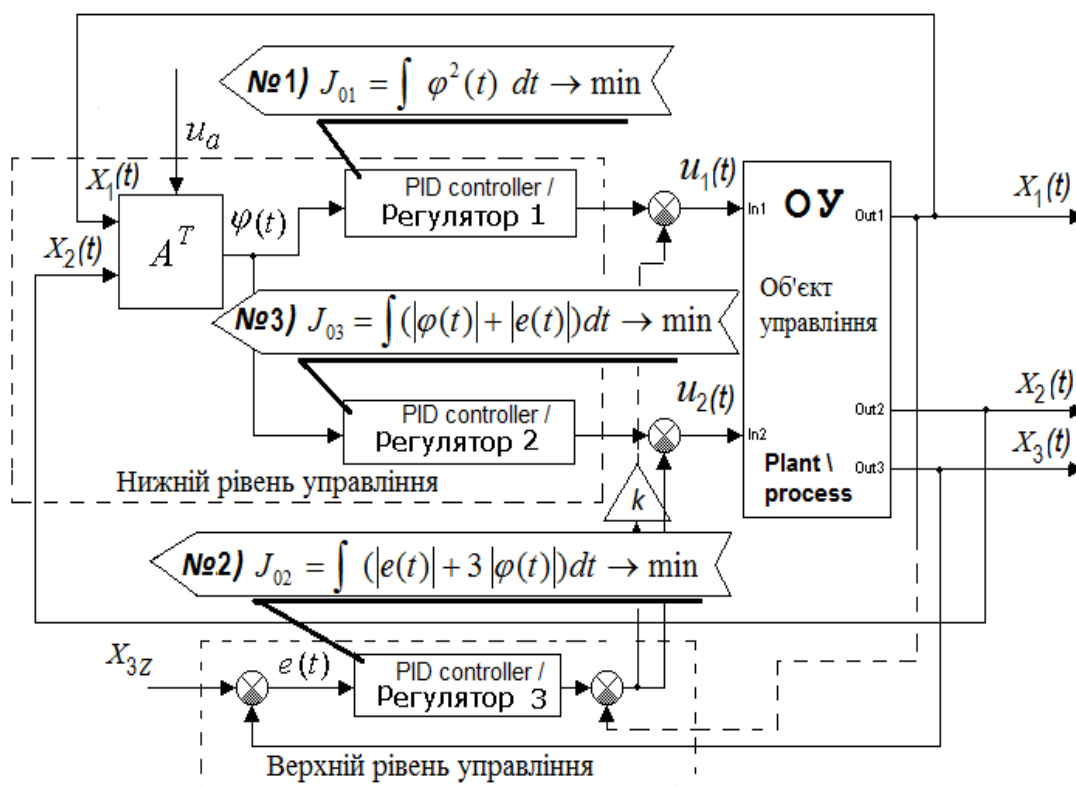
Навчально-науковий інститут комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0»

ім. П. Н. Платонова Одеської національної академії харчових технологій, Gurskiya2017@gmail.com

Координацію – узгодження перехідних процесів під час регулювання параметрів – можливо реалізувати у класі багаторівневих систем управління. Нижній рівень таких багаторівневих систем розв'язує задачу регулювання співвідношення параметрів, верхній рівень системи відповідає за відпрацювання похибок регулювання згідно структурно-часовій співвідпорядкованості перехідних процесів [1–3]. Часова співвідпорядкованість процесів регулювання визначає забезпечення режиму поділу руху.

Розробка алгоритмів налагодження таких систем є завданням актуальним, оскільки відомі методики синтезу координувальних систем пов'язані з об'єктами, що характеризуються винятково лінійними статичними характеристиками [3–6].

Проведені дослідження показали, що можливо виділити два основні алгоритми поетапного налагодження координувальної САУ турбокомпресором на режим поділу руху (див. рисунок) [4, 5].



Структурна схема координувальної САУ, що забезпечує узгодження перехідних процесів під час регулювання параметрів з визначеними критеріями якості роботи системи на етапах налагодження: x_1, x_2, x_3 – фактичні значення регульованих параметрів; x_{3z} – задане значення регульованого параметра; u_a – вплив, що коректує співвідношення між змінними; A^T – вектор коефіцієнтів співвідношення між змінними; k – коефіцієнт передачі додаткового зв'язку; u_1, u_2 – керувальні впливи

Відповідно до певного алгоритму, як показано на рисунку, кожний регулятор налагоджується відповідно до встановленого критерію якості роботи системи на етапах № 1, № 2 і № 3. На кожному етапі налагодження визначаються значення параметрів відповідного регулятора, що забезпечують мінімальне значення інтеграла як похибки регулювання $e(t)$, так і відхилення від співвідношення ϕ параметрів.

Розроблені алгоритми налагодження координувальної САУ дозволяють автоматично синтезувати моделі координувальних систем управління для об'єктів, що характеризуються як лінійними, так і нелінійними статичними характеристиками [7].

1. Boichuk L. M., Kratov G. I., Dykhanov V. P. Controlling a Long String of Moving Vehicles via Dynamic Coordination Technique [Text] / L. M. Boichuk, G. I. Kratov, V. P. Dykhanov // IFAC Proceedings Volumes. – 1995. – Vol. 28. – Issue 10. – С. 165–168. – ISSN 1474-6670.

2. Chatlatanagulchai W. et al. Air/fuel ratio control in diesel-dual-fuel engine by varying throttle [Text] / W. Chatlatanagulchai, S. Rhienprayoon, K. Yaovaja, K. Wannatong // EGR valve, and total fuel. – SAE Technical Paper. – 2010. – Issue 2010-01-2200. – ISSN 2010-10. DOI: <https://doi.org/10.4271/2010-10-2200>.

3. Бойчук Л. М. Синтез координирующих систем автоматического управления : монография / Л. М. Бойчук. – Москва : «Энергоатомиздат», 1991. – 160 с. – Библиогр.: с. 156. – ISBN 5-283-01521-1.

4. Гурский А. А. Системы автоматического регулирования производительности холодильных центробежных компрессоров [Текст] / А. А. Гурский, В. А. Денисенко, А. Е. Гончаренко // Холодильная техника и технология. – Одесса, 2013. – № 5. – С. 72–76. – ISBN 0453-8307.

5. Гурский А. А. Система управления, обеспечивающая энергоэффективное функционирование холодильной турбокомпрессорной установки [Текст] / А. А. Гурский, В. А. Денисенко, А. Е. Гончаренко // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса, 2015. – № 1. – С. 62–66. – ISSN 2312-3125.

6. Филимонов А. Б. О проблематике синтеза координирующих систем автоматического управления [Текст] / А. Б. Филимонов, Н. Б. Филимонов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 128. – № 3. – С. 172–180. – ISSN 1999-94.

7. Гурский А. А. Настройка нейронной сети при автоматическом синтезе сетей Петри [Текст] / А. А. Гурский, С. М. Дубна // Автоматизация технологических та бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – № 1. – С. 22–32. – ISSN 2312-3125.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВАКУМНОЇ КОНТАКТНОЇ МЕМБРАННОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ

Бережа О. М., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, olehbereza@ukr.net

У теперішній час у світі енергетичний баланс формується переважно на основі трьох невідновлюваних вуглеводневих джерел енергії – природного газу, нафти та вугілля.

Проблема з запасами природних копалин зумовила інтенсивне вивчення відновлюваної енергетики, зокрема біоенергетики.

Одним із відновлюваних джерел енергії є біологічне паливо біоетанол.

Біоетанол – це етанол, отриманий у процесі бродіння цукру в матеріалах біомаси, таких як зерно кукурудзи та інші сільськогосподарські відходи. Його використовують і в чистому вигляді, але частіше – як добавку до бензину в двигунах внутрішнього згорання у співвідношенні 10 % етанолу, 90 % бензину. Найбільших успіхів у виготовленні біоетанолу досягли Бразилія та США.

Для підвищення концентрації спирту в кінцевому продукті, а саме у 8,8 разу порівняно з початковою сировиною, впроваджують вакуумну мембранну дистиляцію, схему автоматизації якої зображено на рисунку. Цей метод має й ряд інших переваг, а саме: економічність – початковий розчин не треба доводити до температури кипіння; проста структура об'єкта – він являє собою звичайну посудину, розділену на дві частини молекулярною решіткою; лінійна залежність параметрів – умови перебігу процесу легко передбачити, адже вони мають прямо пропорційну залежність [1].

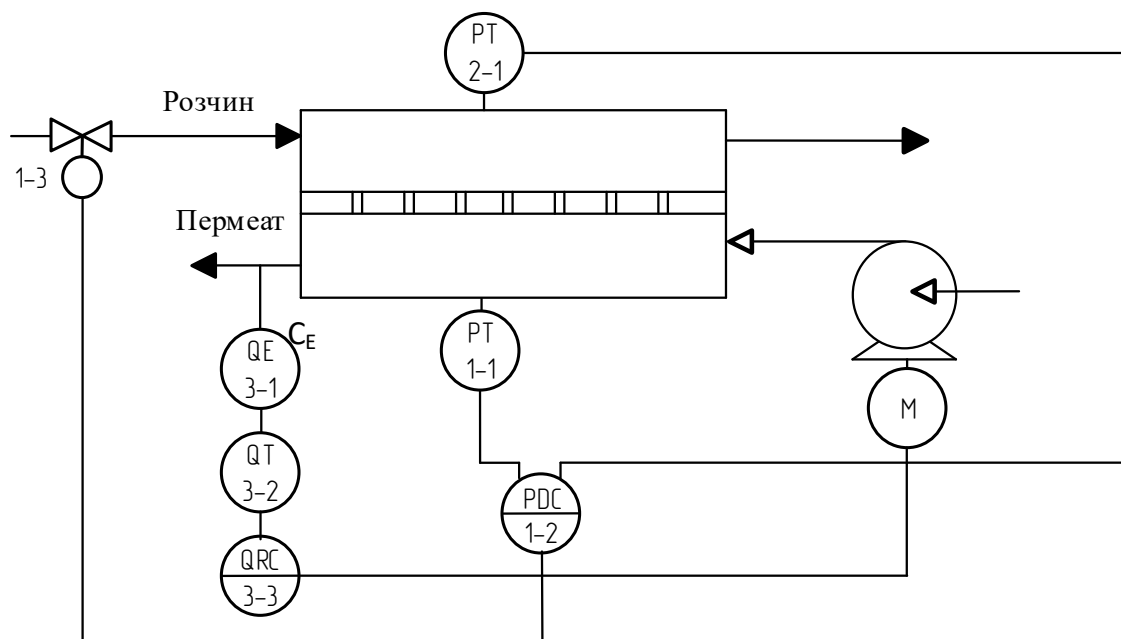


Схема автоматизації процесу мембранної дистиляції:

1-1, 2-1 – вимірювачі тиску; 1-2, 3-3 – регулятори; 1-3 - виконавчий механізм;
3-1 – концентратомір; 3-2 – нормувальний перетворювач; ; C_E – концентрація етанолу

Принцип роботи полягає в тому, що етанол надходить до мембрани і в її порах переходить у газоподібний стан, під дією градієнта парціального тиску парів етанолу на мембрані переходить крізь пори мембрани і конденсується в зоні пермеату. Для стабільної роботи системи потрібно підтримувати сталу температуру розчину на вході в об'єкт в діапазоні від 60 до 80 °С. По обидва боки мембрани необхідно підтримувати певний перепад тиску, який регулюється подачею розчину на об'єкт контуром 1, що представлений двома вимірювачами тиску, з яких один – (1-1) – вимірює тиск в зоні розчину, а другий – (2-1) – вимірює тиск в зоні пермеату, диференціальним регулятором (1-2) і виконавчим механізмом (1-3), що регулює подачу розчину на мембрану. Концентрація пермеату може змінюватися ступенем розрідження в зоні пермеату і регулюється контуром 3, який включає вимірювач концентрації (3-1), нормувальний перетворювач (3-2) та регулятор (3-3), що регулює режим роботи насоса, який і створює розрідження [2, 3].

Оскільки процес є новим, наразі важко у вільному доступі знайти дослідження та математичний опис процесу вакуумної мембранної дистиляції. Саме тому дослідження цього процесу є перспективним і важливим, адже процес відзначається своєю продуктивністю, якістю, простотою та швидкістю перебігу процесу.

1. Benavides-Prada O. A. Vacuum membrane distillation: modeling and analysis for recovery of ethanol from ethanol/water solutions [Text] / O. A. Benavides-Prada, C. A. Guevara-Lastre, F. W. Barón-Núñez // J. of oil & gas and alt. Energy. – 2013. – Vol. 5. – Num. 2. – P. 47–57. – ISSN 0122-5383.

2. Ладієва Л. Р. Математичне моделювання процесу контактної мембранної дистиляції / Л. Р. Ладієва, Р. М. Дубік // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2010. – № 2(6). – С. 119–122.

3. Брык М. Т. Мембранная дистиляция / М. Т. Брык, Р. Р. Нигматуллин // Успехи химии. – 1994. – № 12 (63). – С. 1114–1129.

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ОПОВІЩЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ У РАЗІ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Клімчук О. С., Данькевич А. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, klimchuk.a.s@gmail.com

У сучасних умовах системи керування та сигналізації хіміко-технологічних виробництв потребують застосування мобільних додатків, які можуть виявитись дуже ефективним рішенням. Мобільні додатки дають змогу отримувати інформацію про поточний стан виробництва якомога швидше та можуть забезпечити дистанційну налаштування обладнання одним спеціалістом декількох виробництв без витрачання часу на переміщення. Вони також можуть надавати можливість прямого доступу до показників виробництва для аналітичних досліджень.

Однією із важливих задач функціонування виробництва є створення можливості оповіщення співробітників та відповідальних осіб про аварійні ситуації. У таких ситуаціях розмір матеріальних втрат компанії або навіть життя людей залежать від часу реакції на надзвичайні обставини. Тому така система має, по-перше, працювати швидко, а, по-друге, – сповіщати саме тих працівників, які мають відношення до посталої проблеми.

Для реалізації програмного продукту необхідно створити у базі даних таблиці операторів та апаратів, які обслуговують ці оператори. Через те, що один оператор може обслуговувати декілька апаратів, а один апарат може обслуговуватися декількома операторами, зв'язок між цими таблицями має бути типу «множина до множини» (*many-to-many relationship*). Далі, після отримання сигналу про виникнення аварійної ситуації, необхідно сповістити відповідних працівників. Пропонується декілька архітектурних рішень для розв'язання цих задач.

Перший підхід полягає в тому, що мобільний додаток буде передавати на сервер локацію працівника та у разі виникнення аварійної ситуації робитиметься вибірка із бази тих працівників, які в цей момент перебувають в доступному радіусі та відповідальні за апарат, на якому сталася аварія. Далі сервер за допомогою *Firebase Services* буде надсилати повідомлення на додаток про несправності.

Другий підхід полягає у створенні таблиці в базі даних із графіком роботи працівників. Тоді у разі виникнення аварійної ситуації сервер буде робити вибірку працівників залежно від поточного часу та таблиці із графіком роботи. Позаяк у одного працівника може бути тільки один графік роботи і графік може належати тільки одному працівнику, то зв'язок має бути типу «один до одного» (*one-to-one relationship*).

Недоліком першого підходу є те, що додаток має постійно працювати для того, щоб сервер мав завжди актуальне місцезнаходження працівника. В той же час, у разі використання другого підходу, робітники мають змогу домовитись про зміну графіка роботи в обхід системи.

Надалі планується реалізувати та вдосконалити описану вище систему оповіщення.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Коваленко О. В., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, archbirdrazgriz@gmail.com

Автоматизація з кожним днем набуває все більшого значення у виробничій діяльності та житті суспільства, в задоволенні його нарощуваних потреб. Автоматизація є важливою інженерною наукою, яка охоплює технічні концепції, методи та засоби керування автоматизованими виробництвами, включно з розробкою, проектуванням і модернізацією.

Одним із основних критеріїв автоматизації технологічних процесів є використання сучасних програмно-технічних комплексів. Важливе місце в таких комплексах займають програмовані логічні контролери.

Програмований логічний контролер (ПЛК) – це пристрій, призначений для збирання, перетворення, обробки, зберігання інформації та вироблення команд керування для інших технічних засобів. ПЛК використовуються практично в усіх сферах людської діяльності: для автоматизації технологічних процесів у чорній та кольоровій металургії, металообробній, автомобільній, хімічній, нафтовидобувній галузях промисловості, в системах протиаварійного захисту та сигналізації, у верстатах з ЧПУ, у керування дорожнім рухом, у системах життєзабезпечення будівель, для збору й архівації даних, у системах зв'язку, для автоматизації випробувань продукції тощо. Їх використовують також у галузі освіти, а також в системі неперервної професійної підготовки.

Сучасні ПЛК надають ряд нових можливостей, які раніше було важко – або й зовсім неможливо – реалізувати. Ось тільки деякі з переваг, які надає використання сучасних ПЛК:

- з'являється підтримка сучасних інтерфейсів, а разом з цим і підтримка актуальних зовнішніх пристроїв для створення більш гнучких і функціональних систем;

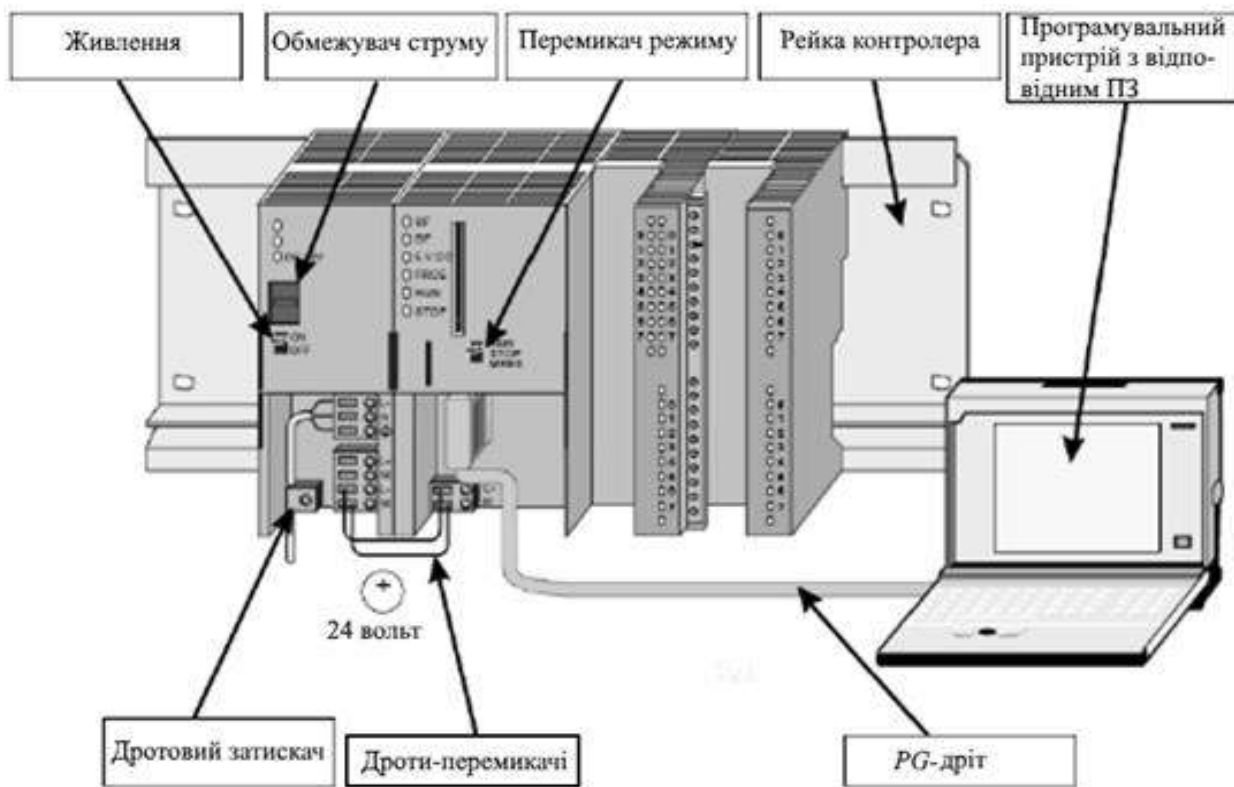
- відмінна риса нового покоління ПЛК – використання сенсорних екранів;
- підтримка веб-візуалізації, що забезпечує можливість віддаленого керування додатком на ПЛК з використанням браузера на різних пристроях, включаючи ПК, планшети та смартфони.

Використання нового покоління ПЛК спільно з технологією OPC та SCADA-системами дозволяє розв'язати задачу віддаленого моніторингу за процесами. Сучасні SCADA-системи мають функціоналом експорт технологічних параметрів в бази даних, на основі якого можна створювати власні системи моніторингу для різних систем з необхідним функціоналом, що підвищує ефективність роботи з об'єктами автоматизації [1].

Незважаючи на велику різноманітність контролерів, у їх розвитку помітні такі загальні тенденції: зменшення габаритних розмірів, розширення функціональних можливостей, збільшення кількості підтримуваних інтерфейсів і мереж, використання ідеології «відкритих систем», зниження ціни. Прагнення

спростити програмування ПЛК привело спочатку до створення мов високого рівня, потім – спеціалізованих мов візуального програмування. Цей процес завершився створенням міжнародного стандарту *IEC 1131-3* (МЕК 61131-3)*, який підтримує п'ять мов технологічного програмування, що виключає потребу в залученні професійних програмістів для створення систем із контролерами [2].

Конструкцію типового сучасного ПЛК наведено на рисунку.



Конструкційні елементи ПЛК

Тож, у підсумку можна сказати, що всі наведені вище аспекти відкривають нові перспективи використання ПЛК та здійснюють позитивний вплив на сферу автоматизації в цілому. Модернізація виробництва та заміна контролерів старих моделей здатна відкрити ширші можливості контролю ТП, а також підвищити точність і швидкість виконання поставлених задач автоматизації, що в умовах постійного збільшення вимог до якості продуктів у різних сферах є вкрай необхідним.

1. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования [Текст] / И. В. Петров, В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с. : ил. – Библиогр.: с. 250–251. – 2500 экз. – ISBN 5-98003-079-4.

2. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст]. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с. : ил. – Библиогр.: с. 558–592. – Предм. указ.: с. 593–606. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9912-0060-8.

* *IEC* (*International Electrotechnical Commission*) – Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК).

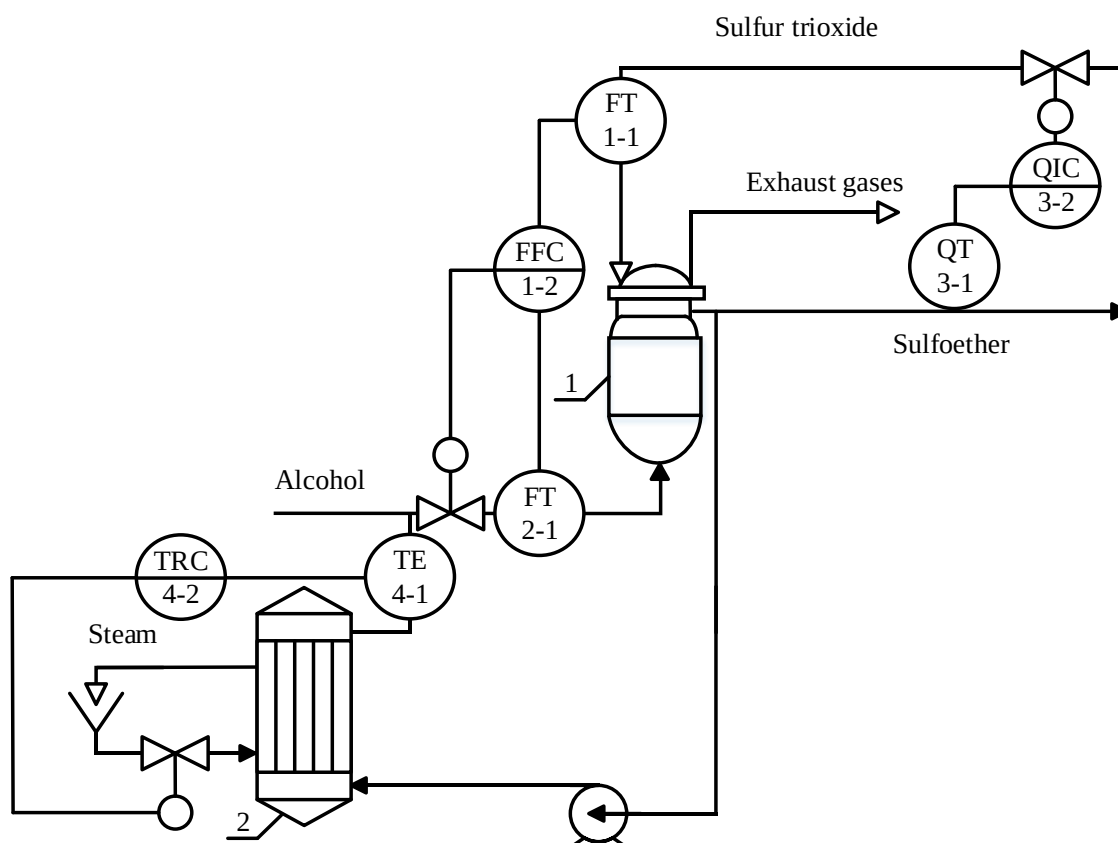
AUTOMATION OF THE ALCOHOL SULFINATION PROCESS

Istomin A. P., Ladieva L. R.

Igor Sikorsky KPI, listomin.andrey1@gmail.com

The process of sulfonation of fatty acids with gaseous sulphur trioxide takes place in continuous mode with high speed and intensive mass transfer. The reaction is exothermic and involves the release of large amounts of heat.

Since the reaction takes place in a heterogeneous system (gas-liquid), the sulfonation scheme under consideration is carried out in bubbling-like sulfators, so that the optimal device for this process consists a comparable system. The formation of bubbles creates the best conditions for sulfonation and thus enables an even distribution of the sulfur trioxide over the entire surface of the sulfator.



Sulfonation process automation scheme:

1 – sulfator; 2 – heat exchanger; 1-1, 2-1 – flow meters; 3-1 – quality sensor; 4-1 – thermoelectric converter; 1-2 – flow regulator; 3-2 – expense ratio adjuster; 4-2 – temperature regulator

The alcohol reaches the bottom of the sulfator according to the established ratio necessary for the reaction to take place in the proper mode. The control is made by the ratio of the consumption of SO_3 and alcohol by changing the flow rate of the latter for which the controller (1-2) is responsible.

The sulfonation reaction is exothermic, therefore great importance is paid to the cooling of the mixture. The cooling system is based on the installation of an additional portable cooler whose coolant supply (water) is controlled by a thermoelectric converter (4-1) and a regulator (4-2) to maintain the required temperature.

The sulfoether from the sulfator flows by gravity into the neutralizer (not shown in the diagram), and an instrument for measuring the quality of sulfonation (3-1) is installed in its path. It registers the output product by density and transmits a signal to the regulator (3-2), which is connected to the actuator drive installed on the SO₃ feed to achieve the desired sulfonation depth.

Exhaust gases of the sulfonation unit, containing unreacted sulfur dioxide and sulfur trioxide, as well as sulfur mass captured during sparging, are withdrawn and subsequently fed to the purification unit.

Alkyl sulphates and sulphates of higher fatty acids (obtained later from sulfoether) are widely used in the production of synthetic detergents, as an active base in the production of foam formers for fire extinguishing, wetting agents, flotation agents, cosmetics and hygiene products.

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / М. В. Лукінюк; Національний технічний ун-т України «Київський політехнічний ін-т». – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : рис. – Бібліогр.: с. 230–231. – ISBN 978-966-622-287-2.

2. Ковалев В. М. Технология производства синтетических моющих средств [Текст] : Учеб. пособие для ПТУ / В. М. Ковалев, Д. С. Петренко. – М.: Химия, 1992. – 272 с. – Библиогр.: с. 16–17. – ISBN 5-7245-0413-8.

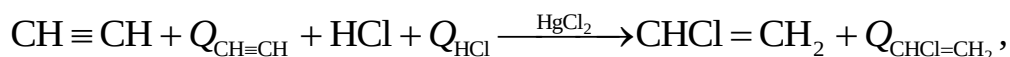
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОГО АПАРАТА У ВИРОБНИЦТВІ ХЛОРИСТОГО ВІНІЛУ

Потапчук А. В., Ковалюк Д. О., Гавриш Б. А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, potapchuk1998@ukr.net

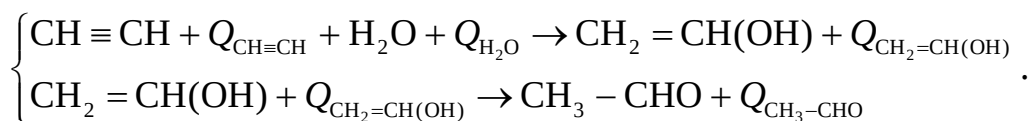
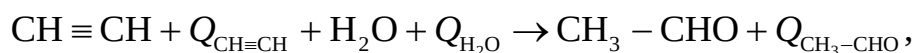
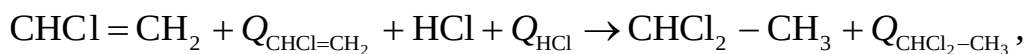
У виробництві хлористого вінілу важливу роль відіграє контактний апарат, в якому в процесі забезпечення потрібної температури протікають важливі хімічні реакції, що задають якісний показник кінцевого продукту.

У процесі отримання хлористого вінілу з ацетилену в контактному реакторі відбувається така основна термохімічна реакція*:



де Q_m – енергія утворення одного молю речовини m .

При цьому виникають і побічні реакції – утворення несиметричного ди-хлоретану та гідратація ацетилену:



Математичну модель створюватимемо, виходячи з таких припущень:

- змішування у контактному апараті проходить за принципом ідеального змішування;
- діапазон зміни температур достатньо вузький для того, щоб можна було знехтувати залежностями теплоємностей, факторів частот та енергій активації від температури;
- втрати тепла у довкілля та на нагрівання стінок відсутні;
- реакції, не описані вище, настільки малозначущі, що ними можна знехтувати.

Для того щоб описати динаміку процесу необхідно знайти швидкості реакцій. Оскільки всі наведені реакції мають перший порядок за реагентами, то можемо записати:

$$w_0(t) = k_0 C_{\text{CH} \equiv \text{CH}}(t) C_{\text{HCl}}(t),$$

$$w_1(t) = k_1 C_{\text{CHCl} = \text{CH}_2}(t) C_{\text{HCl}}(t),$$

$$w_2(t) = k_2 C_{\text{CH} \equiv \text{CH}}(t) C_{\text{H}_2\text{O}}(t),$$

* Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза [Текст]. – М.: Химия, 1968. – 848 с: ил. – Библиогр.: с. 806–819. – 16000 экз.

$$w_3(t) = k_3 C_{\text{CH}\equiv\text{CH}}(t) C_{\text{H}_2\text{O}}(t),$$

$$w_4(t) = k_4 \left(C_{\text{CH}_2=\text{CH}(\text{OH})}(t) \right)^2,$$

де C_m – молярна концентрація речовини m .

З рівняння Арреніуса відома залежність констант швидкостей реакцій від температури:

$$k_n = A_n e^{-\frac{E_{an}}{RT}},$$

де n – номер реакції; A_n – фактор частоти; E_{an} – енергія активації реакції n ; R – універсальна газова стала; T – температура, К.

Енергія активації реакції та фактор частоти мало залежать від зміни температури у вузькому діапазоні, тому можна вважати їх константами. Виходячи з припущення про модель змішування, очевидно що:

$$G_{m\text{вих}}(t) = \frac{C_m(t)}{\sum C_i(t)} \sum G_{i\text{вих}}(t),$$

де $G_{m\text{вих}}(t)$ – витрати речовини m з апарата; $\sum C_i(t)$, $\sum G_{i\text{вих}}(t)$ – сума концентрацій всіх речовин в апараті та сума витрат з апарата (окрім оливи).

Молярні концентрації речовин можемо виразити так:

$$C_m(t) = \frac{M_m(t)}{M'_m V},$$

де M'_m , M_n – молярна маса та маса речовини m відповідно; V – об'єм апарата.

На основі наведених вище рівнянь буде розроблено систему автоматичного контролю якості та розраховано критерій оптимальності.

СТВОРЕННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТАДІЄЮ ОХОЛОДЖЕННЯ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА АЦЕТИЛЕНОВОЇ САЖІ

Камінський В. Г., Бородін В. І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, vladimir_kaminskiy@ukr.net

Серед основних напрямків вдосконалення виробництва ацетиленової сажі* є створення більш точних моделей фізико-хімічних процесів та вдосконалення апаратного оформлення. Для зменшення площ виробництва і тривалості виготовлення продукту особлива увага приділяється стадії охолодження. Впродовж значного часу системи керування виробництвом сажі залишались без змін, особливо системи керування стадією охолодження. Типові системи, побудовані на локальних технічних засобах, хоч і дають змогу підтримувати параметри у межах технологічних норм, не здатні забезпечити високу якість керування, в результаті чого збільшується витрата водню, а також навантаження на систему очищення сажі в гідравлічних затворах.

Метою роботи є формування комплексу заходів із вдосконалення системи керування процесом виробництва ацетиленової сажі на стадії охолодження.

У процесі вибору структури системи керування було враховано такі особливості: витрати водню на вході в реактор, можливість додаткової подачі водню, зміна температури ацетилену, що йде на спалення. Серед варіантів вирішення проблеми найбільш ефективним можна назвати використання підсистеми нечіткого керування. Для її побудови слід забезпечити доповнення системи керування, що діє у наш час, додатковими датчиками, інтегрованими у комп'ютерну систему верхнього рівня.

Тривалим досвідом експлуатації доведено низьку ефективність складних систем керування технологічними процесами хімічної промисловості. В результаті аналізу встановлено, що локальне керування добре вивченими технологічними процесами має вищі показники ефективності, порівняно із системами інтелектуального керування. Це зумовлено суттєвими розбіжностями між теоретичними моделями та реальними об'єктами, а також постійною зміною характеристик обладнання у процесі експлуатації.

Отже, розроблювана система керування верхнього рівня має містити апарат адаптації математичної моделі до реального обладнання та підсистему нечіткого керування. Результатом роботи такої системи керування буде зміна параметрів математичної моделі відповідно до зміни характеристик обладнання. Це забезпечить ефективне використання апарата нечіткого керування та напрацювання необхідної бази даних. Серед переваг такої системи можна назвати підвищену швидкість та ефективність роботи системи керування і, як наслідок, стабілізацію температури та зменшення часу охолодження сировини.

* Зуев В. П. Производство сажи [Текст]. – 2-е изд. перераб. и доп. / В. П. Зуев, В. В. Михайлов. – М.: Химия, 1965. – 330 с. – Библиогр.: с. 327–328. – 4700 экз.

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКОМ ЗАСОБАМИ *CONTROL SYSTEM TOOLBOX*

Бушмакін Б. В., Ковалюк Д. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, bbushmakin98@gmail.com

У багатьох технологічних процесах для отримання якісної кінцевої продукції найбільш важливим фактором є підтримка регламентованого температурного режиму на всіх етапах виробництва. Холодильники дуже широко застосовуються для охолодження як рідин, так і різних газів та сумішей.

Розглянемо технологічний процес виділення ацетилену з вуглеводнів^{*}, частиною якого є теплообмінник для охолодження газу. У апараті на вхід подаються гази, що охолоджуються водою, тобто каналом керування виступає залежність «температура – витрата», а домішки у газі виступають збуренням.

Передавальну функцію холодильника отримали у вигляді:

$$W(p) = \frac{-70}{20157p + 1}. \quad (1)$$

У холодильнику на вхід подаються гази, що охолоджуються холодною водою, тобто швидкість охолодження залежить від кількості води та її температури.

Динамічну характеристику холодильника показано на рис. 1.

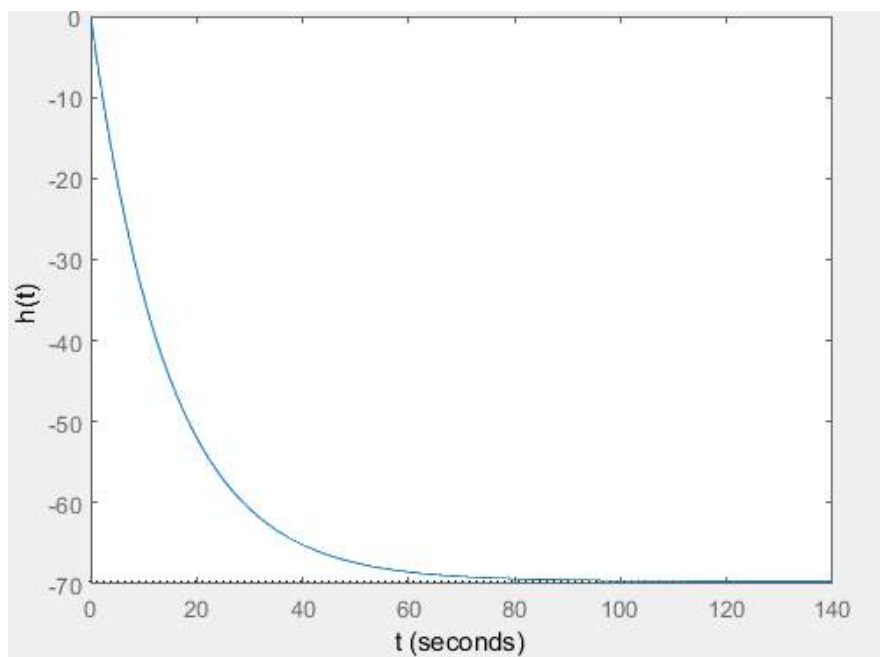


Рис. 1. Динаміка процесу охолодження

В середовищі *Matlab* (в пакеті *Control System Toolbox*) передбачено можливість автоматичного налаштування регуляторів за певними критеріями. Використаємо її та налаштуємо регулятор.

^{*} Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза [Текст] / И. И. Юкельсон. – М.: Химия, 1968. – 848 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 806–819. – 16000 экз.

На рис. 2. наведено скриншот робочого вікна програми, яке відкривається командою *Sisotool*.

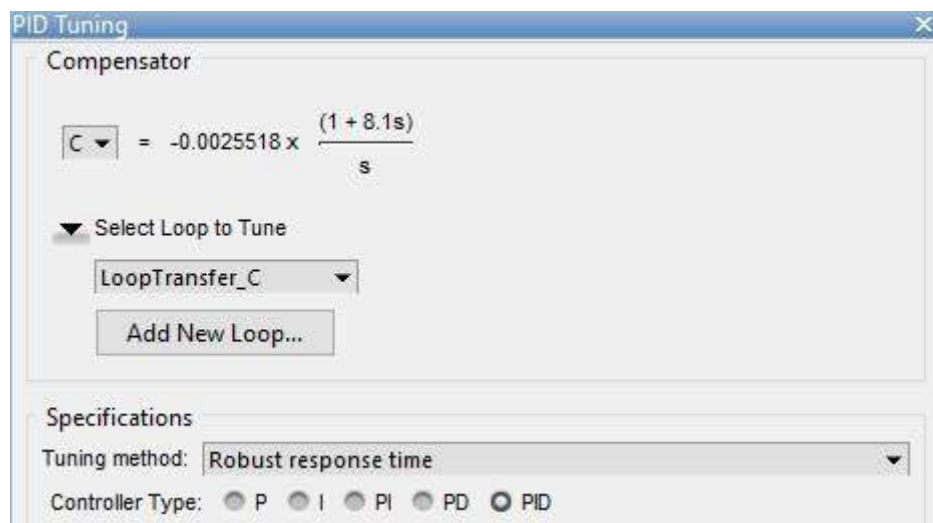


Рис. 2. Вікно налаштування регулятора

Було отримано передавальну функцію ПІД-регулятора у вигляді

$$W_{\text{ПІД}}(p) = k_p + \frac{1}{T_{in}p} + T_{df}p = -0,00255 \frac{1+8,1p}{p}. \quad (2)$$

На рис. 3 наведено перехідну характеристику замкненої системи з ПІД-регулятором.

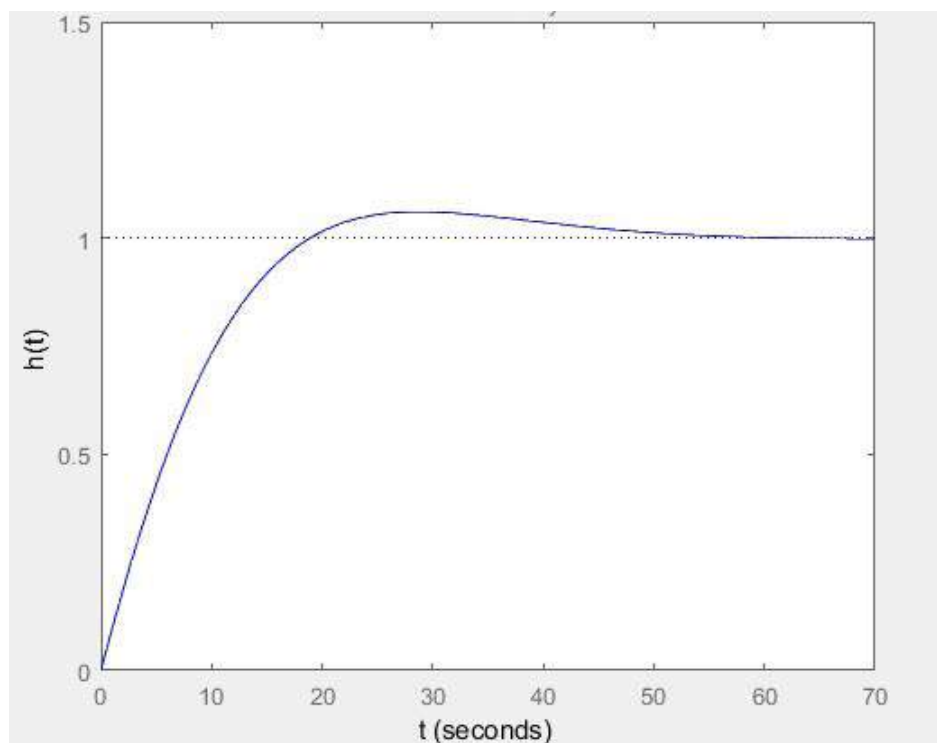


Рис. 3. Перехідна характеристика замкненої системи з ПІД-регулятором

Отримані параметри регулятора будуть застосовані для налаштування контролера об'єкта керування.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ СІРЧАНОКИСЛОТНОЮ ГІДРАТАЦІЄЮ ЕТИЛЕНУ

Яковенко Т. Г., Ситніков О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, avel63146@gmail.com

У виробництві досліджується процес отримання етанолу з етилену методом гідратацій останнього. Для того, щоб виробити етилен, необхідно підготувати сировину. Етилен отримується з газу піролізу в умовах низьких температур і високого тиску. Компримування піролізу відбувається в компресорах з проміжним охолодженням і сепарацією газу між її ступенями [1].

Очищення етилену є важливою частиною процесу, в якій значно знижується вміст сірчаних зв'язків, двоокису вуглецю, ацетилену та кисню.

Вихідною сировиною є газоподібна етанетиленова фракція, яка в собі включає 30...50 % етилену та 95...97 % сірчаної кислоти. Газ, який містить в собі етилен, надходить у реакційну колону, де збризкується сірчаною кислотою. Газ барботує у вигляді малих бульбашок на 25-ти тарілках через шар рідини, де відбувається поглинання етилену. В колоні обов'язково слід підтримувати температуру в діапазоні 65...75 °С та тиск 25 кгс/см². З нижньої частини реакційної колони витікає реакційна маса. Ця суміш охолоджується в холодильнику та спрямовується в гідролізер. Гідроліз відбувається за температури 92...96 °С, під тиском 4,5...5 кгс/см².

Далі реакційна маса надходить у відпарну колону, куди подається гостра пара. У верхній частині колони підтримується температура 110 °С, а в нижній частині колони – температура 125 °С. Тиск у колоні становить 0,5 кгс/см². З нижньої частини колони відводиться 45...47 % сірчаної кислоти, яка подається на упарювання, де концентрація кислоти доводиться до 90 %. Пари спирту та інших продуктів спрямовуються в нейтралізаційну відпарну колону, де відганяється спирт-сирець.

Основною задачею для автоматизації виробництва є автоматичний контроль витрат етилену та сірчаної кислоти в реакційній колоні, підтримка відповідного тиску та відповідного температурного режиму [2].

Таким чином, сформувано задачі на дослідження системи керування виробництва етилену та процесу гідратації етилового спирту етиленом і визначено значення режимних параметрів для цих процесів.

1. Амелина А. Г. Общая техническая технология [Текст] : учеб. пособ. / А. Г. Амелина, А. И. Малахов, И. Е. Зубова ; под ред Н. Н. Терпеловского. – М.: Химия, 1977. – 400 с.: ил. – Библиогр.: с. 155–158. – 5000 экз.

2. Автоматическое управление в химической промышленности [Текст] : Учебник для вузов./ Е. Г. Дудников, А. В. Казаков, Ю. Н. Софиева и др.; под ред. Е. Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.: ил. – Библиогр.: с. 271–275. – 10000 экз.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ У ПРОЦЕСІ КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Захарчук А. С., Черьопкін Є. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, anastasiia.zakharchuk29@gmail.com

Процес переробки нафти шляхом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі є одним із найбільш розповсюджених процесів у нафтопереробній галузі. Його розвиток та вдосконалення тривають від початку ХХ століття. До основних ускладнень процесу слід віднести його перебіг за високих температур, необхідність регулювання співвідношення витрати газойль : каталізатор та підвищення якості вихідного продукту. У ХХІ столітті досягається вихід продукту до 85 % за рахунок використання вдосконалених каталізаторів. До вихідних продуктів процесу належать дизельне паливо, бензин і газойль (важкий та легкий) [1].

Підвищення якості процесу каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі може бути досягнуто шляхом впровадженням нових технологічних рішень або розробкою сучасних систем автоматичного керування [2].

В ході аналізу можливих варіантів реалізації такої системи керування була поставлена задача визначення ефективності використання нечіткого керування. Відомо [3], що нечітке керування особливо корисне, коли керовані технологічні процеси занадто складні для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів, або коли доступні джерела інформації інтерпретуються на якісному рівні неточно чи невиразно. Експериментально показано, що нечітке керування у певних випадках дає кращі результати керування, порівняно з отримуваними у разі використання загальноприйнятих алгоритмів.

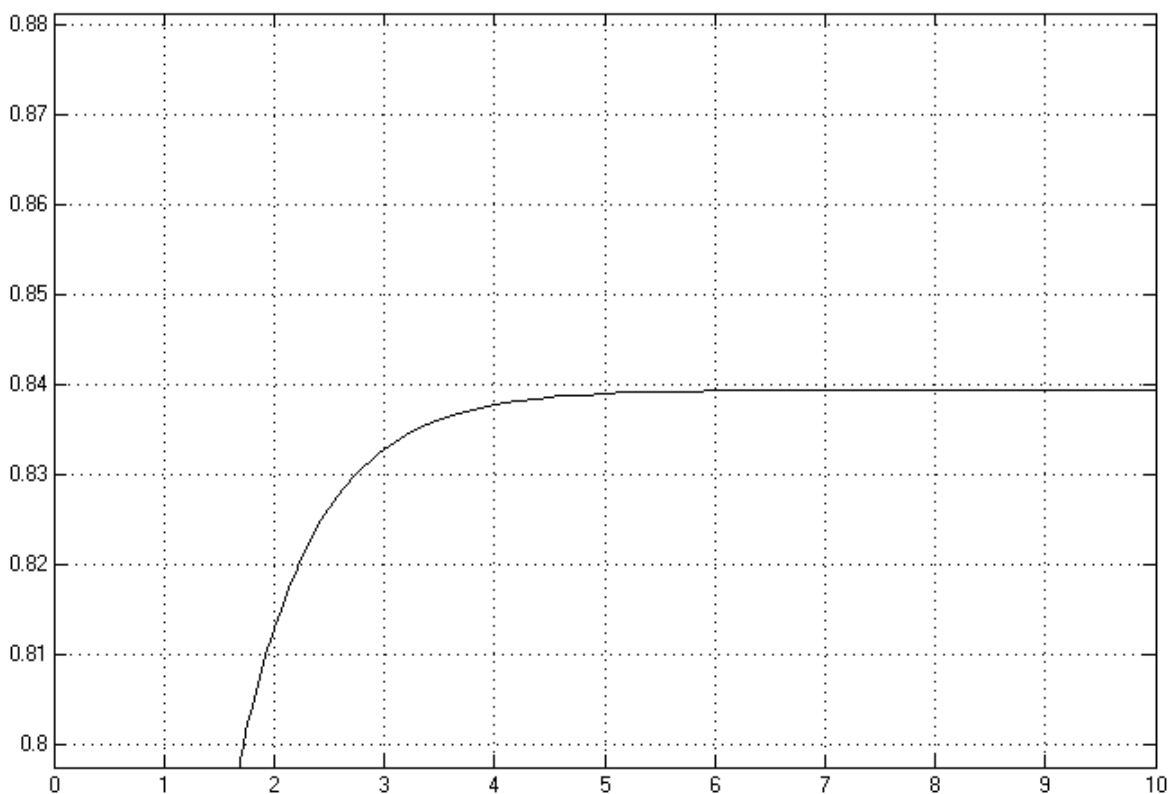
У ході досліджень було розроблено систему керування реактором, де основним є контур стабілізації концентрації цільового продукту, а додатковим – контур керування співвідношенням основного та переробленого газойлів [3].

Отримані дані будуть використані для порівняння ефективності розробленої системи керування з чинною, яка складається з одного контура керування концентрацією вихідного продукту з використанням налаштованих П-, ПП- та ППД- регуляторів [4].

Робота основного регулятора відбувається на основі методів нечіткої логіки, при цьому регулятор на основі вихідного значення концентрації цільового продукту розраховує необхідну витрату газойлю.

Додатковий регулятор забезпечує підтримання необхідного співвідношення витрати газойль : каталізатор (1:3,5 кг/с) для максимально якісного протікання керованого процесу.

На основі блочного принципу з використанням типових гідродинамічних моделей, що враховують рух потоків речовини за умови режиму ідеального витіснення, було розроблено математичну модель реактора, в результаті реалізації якої отримано перехідну характеристику системи керування вихідною концентрацією бензину, наведену на рисунку.



Перехідна характеристика системи керування концентрацією цільового продукту

Задачею подальших досліджень є визначення ефективності розробленого рішення у порівнянні з системою без урахування поверненого газойлю, а також системи керування з використанням П-, ПІ- та ПІД-регуляторів.

1. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа [Текст]: Учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с. – Библиогр.: с. 418–488. – 5000 пр. – ISBN 5-7501-0296-3.

2. Захарчук А. С. Система керування процесом каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі [Текст] / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Тези доповідей Дванадцятої науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс] / К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 90 с. : іл. – Бібліогр.: с. 67–68. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf), вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

3. Аверкин А. Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта [Текст] / А. Н. Аверкин. – М.: Книга по требованию, 2013. – 312 с. – Библиогр.: с. 112–153. – 5000 пр. – ISBN 978-5-458-25284-3.

4. Захарчук А. С., Черьопкін Є С. Моделювання системи керування реактором у процесі каталітичного крекінгу в псевдозрідженому шарі у середовищі Simulink [Текст] / А. С. Захарчук, Є. С. Черьопкін // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ, 22 листопада 2017 р. [Електронний ресурс] / К.: НУХТ, 2017 р. – 295 с. – Бібліогр.: с. 37–38. – ISBN 978-966-612-202-8. – Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА МЕТИЛОВОГО СПИРТУ З ОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ТА ВОДНЮ

Максимчук О. В., Ситніков О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, alexandrmaksimchuck@gmail.com

У рамках цього виробництва досліджується процес синтезу метилового спирту (метанолу) з оксиду вуглецю та водню. Надходячи на синтез, газова суміш (синтез-газ) попередньо очищується від домішок, які є контактними отрутами. Співвідношення оксиду вуглецю та водню в газовій суміші встановлюють залежно від застосованого каталізатора. У разі застосування цинкхромового каталізатора співвідношення може бути від 1 : 1,5 до 1 : 2,5, а для мідних каталізаторів, щоб знизити температуру в реакційній зоні, водень подають у великому надлишку (співвідношення звичайно становить 1 : 3) [1].

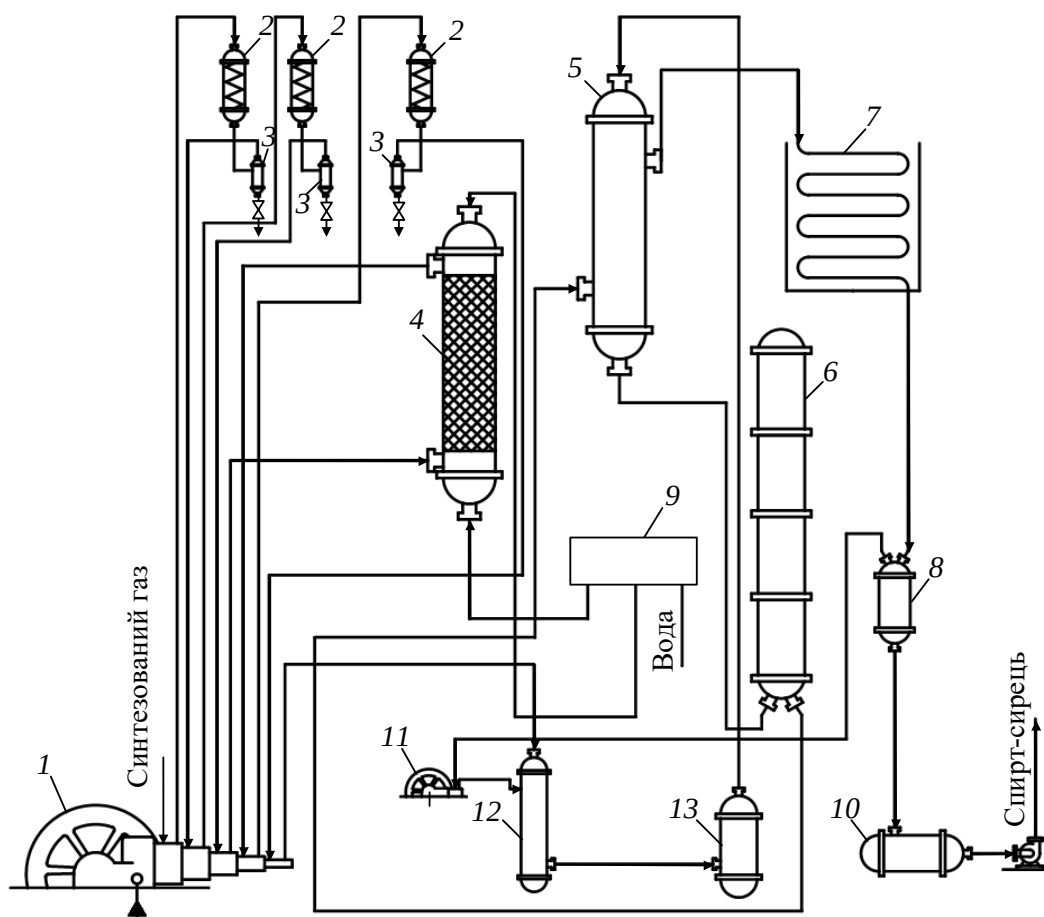


Схема синтезу метилового спирту з оксиду вуглецю та водню

Газову суміш стискають у багатоступінчастому компресорі 1. Переходячи зі ступеня у ступінь, стиснений газ охолоджується у водяних проміжних холодильниках 2 до температури, яка була у нього на вході в цей ступінь стиснення. Після кожного холодильника газ відокремлюється від вологи, що сконденсува-

лася під час охолодження, у водовіддільниках 3. З третього ступеня компресора газ під тиском 27 ата подають у насадковий скруббер 4, зрошуваний водою.

У скруббері відбувається відмивання газу від двооксиду вуглецю, який під тиском добре розчиняється у воді. Очищений від двооксиду вуглецю газ стискається в четвертому та п'ятому ступенях компресора до 243 ата і надходить у змішувач 12, де змішується зі зворотним (циркуляційним) газом, який нагнітається циркуляційним компресором 11. Далі суміш очищається у фільтрі 13, заповненому активним вугіллям, від пентакарбонілу заліза. Очищений газ надходить у труби теплообмінника 5, де нагрівається відхідними контактними газами до температури 320 °С. З такою температурою газова суміш надходить у колону синтезу 6. Для підтримання температури в контактній зоні у межах 400...420 °С у цю зону вводять холодний газ. Контактні газу з колони синтезу, проходячи через міжтрубний простір теплообмінника 5, охолоджуються до температури 80...100 °С, а далі – до 30 °С у холодильнику-конденсаторі 7. Тут пари спирту конденсуються; рідина (спирт-сирець) відокремлюється від газів у сепараторі 8; газу циркуляційним компресором 11 нагнітаються в змішувач 12. Спирт-сирець зливають в збірник 10. Далі спирт-сирець подають на очищення та ректифікацію [2].

Як висновок можна сказати, що основною задачею для автоматизації даного виробництва є автоматичний контроль витрати газової суміші в колоні синтезу та підтримання заданих температурних режимів.

1. Кутепов А. М. Общая химическая технология [Текст] : учебник для вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарев, М.Г. Беренгартен. – 3-е изд., перераб. – М.: Академкнига, 2004. – 528 с.: ил. – Библиогр.: с. 345–346. – 2000 экз. – ISBN 5-94628-079-1.

2. Схиртладзе А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств [Текст] : учебник для ВУЗов / А. Г. Схиртладзе, А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2012. – 565 с.: ил. – Библиогр.: с.414–416. – 1500 экз. – ISBN 978-5-4372-0073-5.

КЕРУВАННЯ ПАРОРІДИННИМИ КОЖУХОТРУБНИМИ ТЕПЛООБМІННИКАМИ З МІНІМІЗАЦІЄЮ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАТРАТ

Юсик Я. П., Фединець В. О., Васильківський І. С.

Національний університет «Львівська політехніка», yusik@ukr.net

У процесах нагрівання або охолодження продукту в сучасних виробництвах широко застосовуються парорідинні кожухотрубні теплообмінники (КТ-ТО), що є значними споживачами теплової енергії. Рациональна організація процесу у такому КТ-ТО дасть змогу збільшити його продуктивність та отримати значну економію теплової енергії.

Водяна пара є найбільш розповсюдженим гарячим теплоносієм, який використовується в КТ-ТО для нагрівання рідин до температури 150...170 °С.

Для автоматичного регулювання парорідинних КТ-ТО використовують одноконтурні системи автоматичного регулювання (САР), комбіновані САР, каскадні САР [1, 2, 3]. Однак їх недоцільно використовувати для складних умов роботи парорідинного КТ-ТО [4].

Для регулювання парорідинних КТ-ТО у складних умовах роботи нами запропоновано використовувати САР, побудовану на основі їх теплового балансу.

Рівняння теплового балансу для парорідинного КТ-ТО, у випадку коли теплоносієм (пара) змінює агрегатний стан (конденсація), має вигляд

$$F_1(h_1' - h_1'')\eta = F_2C_2(t_2 - t_1) = kS\Delta\theta\tau,$$

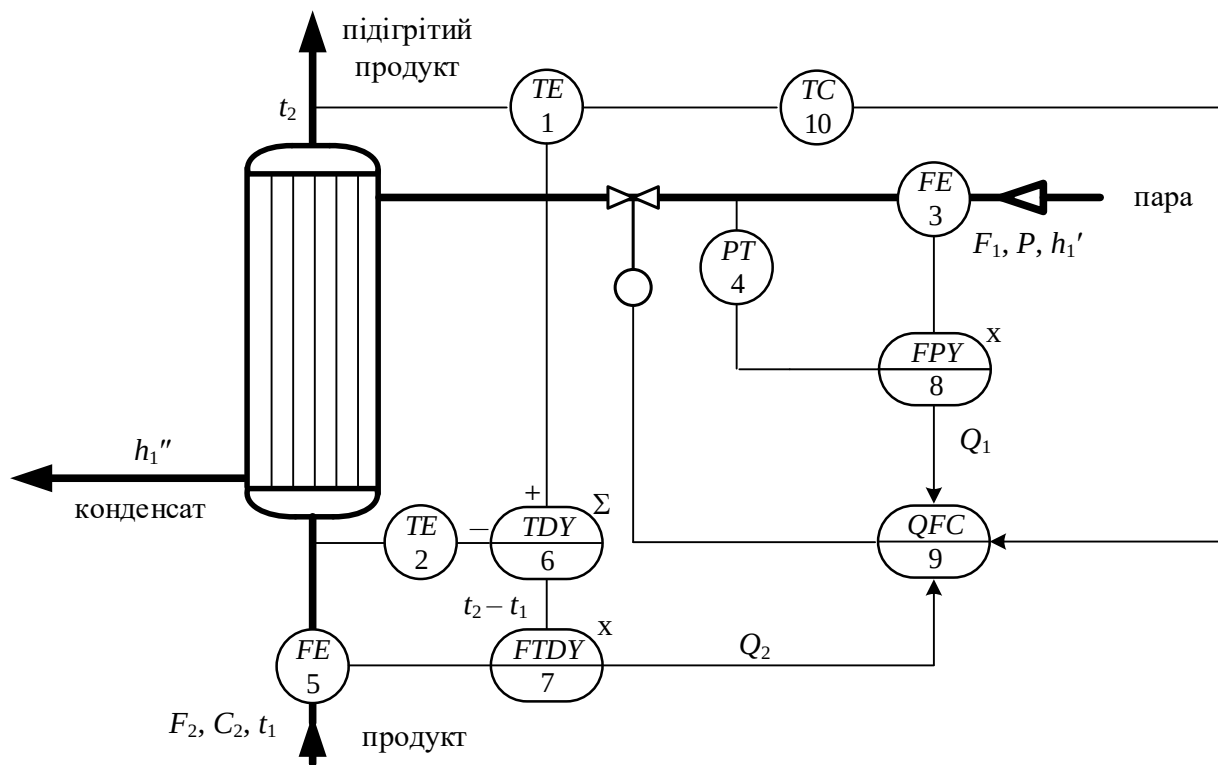
де F_1 , F_2 – витрати пари та продукту відповідно; h_1' і h_1'' – ентальпія пари на вході та конденсату на виході з теплообмінника (визначаються за тиском нагрівальної пари P); t_1 , t_2 – початкова та кінцева температури продукту відповідно; C_2 – питома теплоємність продукту; η – коефіцієнт теплових втрат ($\eta = 0,97...0,99$); k – коефіцієнт теплопередачі; S – площа теплообміну; $\Delta\theta$ – різниця температур (усереднений температурний напір); τ – координата часу; $Q_1 = F_1(h_1' - h_1'')$ – кількість тепла, яку віддає пара за одиницю часу; $Q_2 = F_2C_2(t_2 - t_1)$ – кількість тепла, яку сприймає продукт; $Q_c = kS\Delta\theta\tau$ – кількість тепла, яка пройшла через розділювальну стінку.

Таким чином, $Q_1\eta = Q_2 = Q_c$.

На рисунку наведено один із запропонованих авторами варіантів схеми автоматизації парорідинного КТ-ТО, побудованої на основі теплового балансу для складних умов роботи КТ-ТО (значні коливання витрати F_2 та початкової температури t_1).

Блок 6 визначає, на скільки градусів має бути підігрітий продукт: $t_2 - t_1$. Блок 7 визначає кількість тепла Q_2 , що необхідно підвести до продукту. Блок 8 визначає кількість тепла Q_1 , яку віддає пара. Регулятор 9 підтримує необхідне

співвідношення теплових потоків Q_1/Q_2 . Регулятор 10 коректує співвідношення Q_1/Q_2 у разі, коли t_2 відхиляється від заданого значення. У схемі передбачено введення коефіцієнта співвідношення (теплових втрат) $\eta = Q_2/Q_1$. Розроблена схема автоматизації враховує зміну параметрів F_1 , F_2 , P , t_1 і оперативно реагує на їх зміну ще до зміни t_2 .



Спрощена схема автоматизації парорідинного КТ-ТО на основі рівняння теплового балансу: 1, 2, – давачі температури; 3, 5 – давачі витрати; 4 – перетворювач тиску; 6 – суматор; 7, 8 – блоки множення; 9 – регулятор співвідношення теплових потоків Q_1/Q_2 ; 10 – регулятор температури продукту

На основі результатів експериментальних досліджень показано, що запропонована схема автоматизації, побудована на основі теплового балансу для складних умов роботи парорідинного кожухотрубного теплообмінника, забезпечує мінімальні затрати теплової енергії.

1. Автоматическое управление в химической промышленности [Текст] : Учебник для вузов. / Е. Г. Дудников, А. В. Казаков, Ю. Н. Софиева и др. ; под ред. Е. Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с. – Библиогр.: с. 361–363. – 10000 экз.

2. Полоцкий Л. М. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации [Текст] / Л. М. Полоцкий, Г. И. Лапшенков. – М.: Высшая школа, 1982. – 296 с. – Библиогр.: с. 289. – 18000 экз.

3. Шувалов В. В. Автоматизация процессов в химической промышленности [Текст] / В. В. Шувалов, Г. А. Огаджанов, В. А. Голубятников. – М.: Химия, 1991. – 480 с. – Библиогр.: с. 479. – 19000 экз. – ISBN 5-7245-0142-2.

4. Грицай В. І. Мінімізація енергетичних затрат в кожухотрубних теплообмінниках з парорідинними теплоносіями / В. І. Грицай, Я. П. Юсик // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2003. – № 488. – С. 252–262. – Бібліогр.: с. 262. – ISSN 0321-0499.

СИНТЕЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО РЕГУЛЯТОРА У ПРОЦЕСІ СУШІННЯ ПОДВІЙНОГО СУПЕРФОСФАТУ

Рихлик Д. Ю., Ковалевський В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, rykhlyk.info@gmail.com

У процесі сушіння подвійного суперфосфату в розпилювальній сушарці основним параметром є концентрація вологи в продукті на виході з апарату, що має становити не більше 5 %. Для здійснення сушіння використовуються топкові гази, що надходять на вхід сушарки за температури 525 °С. Температура в камері сушарки має бути стабілізована на рівні не менше 105 °С [1]. Порушення ведення процесу сушіння впливає на ступінь розкладання фосфориту в подвійному суперфосфаті та, відповідно, на якісні показники продукту .

Досягнення заявленої мети передбачає розробку математичної моделі та синтез регулятора. Для реалізації поставленої задачі запропоновано контролер на основі нейронної мережі. Це пояснюється тим, що нейрокерування дає змогу адаптуватися до зміни властивостей динамічної системи, яка призводить до потреби зміни закону керувальних впливів.

Математична (еталонна) модель представленого об'єкта отримана аналітичним методом, передавальна функція сушарки для каналу регулювання вмісту вологи подвійного суперфосфату зміною вхідного потоку топкових газів записана у вигляді аперіодичної ланки першого порядку [2]:

$$W(p) = 6,2 / (12,51p + 1).$$

Для подальших досліджень використано блок *Model Reference Controller* із бібліотеки *Neural Network Toolbox* середовища *Simulink*. В архітектурі цього блоку використовуються дві нейронні мережі: мережа контролера та модель об'єкта керування, як показано на рис. 1.

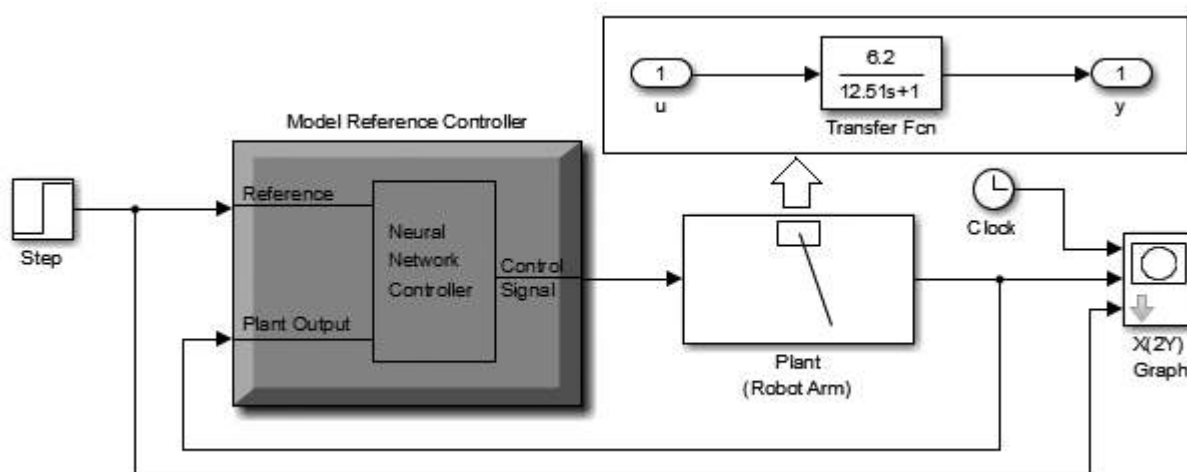


Рис. 1. Структурна модель керування з використанням нейромережевого регулятора

Описаний блок генерує сигнал керування на основі еталонної моделі та має три основні позиції необхідних налаштувань: у *Network Architecture* визна-

чено структуру нейромережі, яка має 13 прихованих шарів, 2 входи та 1 вихід; в позиції *Training Data* задано вигляд тренувальної моделі та сформовано вибірку даних; в *Training Parameters* – параметри безпосередньо навчання мережі. Отримана нейронна мережа, навчена керувати об'єктом так, щоб він відстежував поведінку еталонної моделі [3].

В результаті зазначених досліджень було отримано систему нейромережевого керування, що забезпечує перехідний процес сушіння подвійного суперфосфату такий, як зображено на рис. 2.

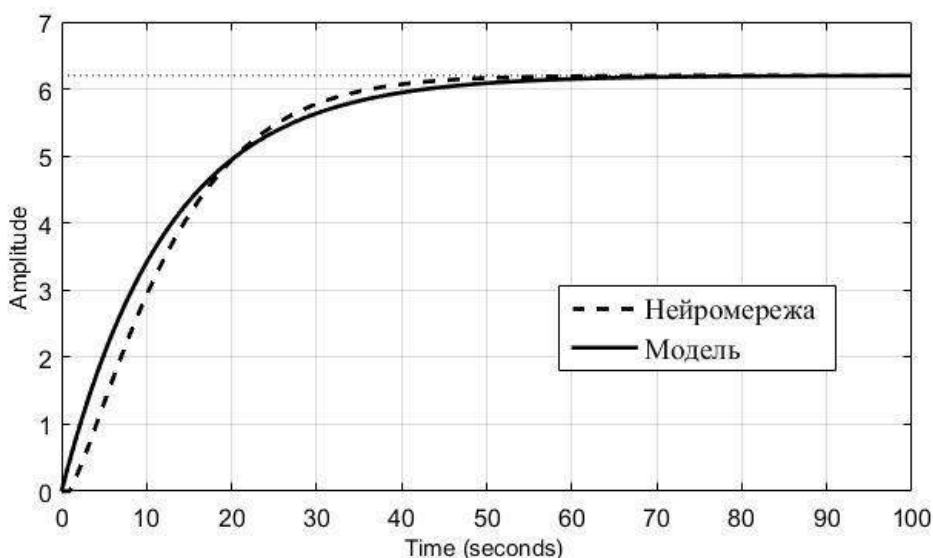


Рис. 2. Результат синтезу нейромережевого регулятора в середовищі Simulink

Використання нейронних мереж у середовищі *Simulink* дозволяє не тільки прогнозувати стан технологічного об'єкта – розпилювальної сушарки, але й розв'язувати задачу оптимального керування процесом сушіння подвійного суперфосфату шляхом створення адаптивної системи керування на основі нейроконтролера зі здатністю до навчання.

У результаті дослідження було обрано структуру нейронної мережі та визначено її параметри шляхом безпосереднього навчання нейронної мережі, яка здатна адекватно відтворювати поведінку еталонної моделі.

1. Соколовский А. А. Краткий справочник по минеральным удобрениям [Текст] / А. А. Соколовский, Т. П. Унанянц. – М.: Химия, 1977. – 376 с., – Библиогр.: с. 183–185. – 35500 экз.

2. Рихлик Д. Ю. Моделювання динаміки процесу сушіння подвійного суперфосфату [Текст] / Д. Ю. Рихлик, В. М. Ковалевський // V Міжнар. науково-практична конф. молодих учених, студентів та аспірантів «АКІТ-2018»: Матеріали конференції. Київ, 11–12 квітня 2018 р. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 168 с. – ISBN 978-966-622-884-3.

3. Кузнецов Б. І. Нейромережева система наведення і стабілізації з регулятором на основі еталонної моделі Model Reference Controller [Електронний ресурс] / Б. І. Кузнецов, Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 35–39. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/elem_2015_4_8, вільний. – Заголовок з екрана. – Мова укр.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ АСТАТИЧНОГО ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ У ЗАМКНУТІЙ СИСТЕМІ

Крих Г. Б., Матіко Г. Ф., Стасюк І. Д.

Національний університет «Львівська політехніка», halynamatiko@gmail.com

Астатичні об'єкти керування особливо чутливі до налаштування автоматичних регуляторів, тому знаходження їх адекватних моделей є важливою задачею синтезу систем керування (СК). Найбільш поширені методи кривої розгону та навіть імпульсної перехідної характеристики для астатичних об'єктів застосовують з пересторогою, оскільки відхилення регульованої величини під час експерименту можуть перевищувати допустимі значення. Безпечним є метод ідентифікації астатичного об'єкта за перехідними процесами замкнутої СК, які отримують зміною заданого значення регульованої величини^{*}. Зазвичай застосовують стрибкоподібну або імпульсну зміну заданого значення. Враховуючи те, що стійкі СК з астатичним об'єктом та будь-яким лінійним регулятором, за винятком інтегрального, забезпечують задане значення регульованої величини без статичної похибки, то можна вибрати такі зміни вхідної дії, за яких тривалість перехідного процесу та відхилення регульованої величини не перевищуватимуть допустимих значень.

Ідентифікація об'єкта керування (ОК) в замкнутій системі ускладнюється тим, що вихідний сигнал ОК містить завади, які корелюють із регульовальною дією внаслідок наявності зворотного зв'язку. В результаті цього досліджувана модель ОК може виявитись неадекватною. За допомогою моделювання авторами проаналізовано особливості застосування методу ідентифікації астатичного об'єкта за перехідними процесами СК, отриманими внаслідок стрибкоподібної чи імпульсної зміни заданого значення та дії випадкових завад.

Отримання моделі ОК за перехідними процесами замкнутої СК полягає у знаходженні такої структури та параметрів моделі ОК, які забезпечують мінімальне значення вибраного критерію. У загальному випадку критерій є функцією різниці $\Delta x(t)$ між виходом $x(t)$ заданої системи та виходом $x^m(t)$ її моделі як реакції на одну й ту ж зміну вхідної величини. Нами порівнювались результати ідентифікації при застосуванні таких трьох критеріїв: інтегралів I_1 від модуля $|\Delta x(t)|$, I_2 від квадрата $\Delta x^2(t)$ та I_3 від зваженого квадрата різниці $t\Delta x^2(t)$. Якість отриманої моделі оцінювалась за середньоквадратичним відхиленням σ_{OK} перехідної функції або імпульсної перехідної характеристики $x_{OK}(t)$ заданого об'єкта

від отриманої за моделлю $x_{OK}^m(t)$:
$$\sigma_{OK} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{OK}(t_i) - x_{OK}^m(t_i))^2 \right)^{0,5}.$$

^{*} Жмаченко В. П. Ідентифікація об'єктів без самовирівнювання [Текст] / В. П. Жмаченко, М. В. Коржик // Матеріали Другої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2015); Київ, НТУУ «КПІ», 15–16 квітня 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 128 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 70–72. – 100 пр. – ISBN 978-966-622-693-1.

Задані перехідні процеси формувались системою з П-регулятором та об'єктом керування з передавальною функцією $W_{OK}(s) = k_i / (s(Ts + 1))$ з $k_i=0,15$, $T=12$ с. Передавальний коефіцієнт регулятора $k_p=0,1389$ вибрано з умови отримання аперіодичних перехідних процесів. Для знаходження моделей ОК опрацювання отриманих значень перехідних процесів здійснювалось трьома способами: 1) за значеннями $x(t)$ із випадковими високочастотними завадами; 2) за фільтрованими за допомогою аперіодичної ланки першого порядку значеннями перехідних процесів; 3) за згладженими значеннями перехідних процесів. Згладжування проводили апроксимацією вихідних даних поліномом. За результатами всіх експериментів найкраще наближення знайденої моделі ОК до заданої спостерігалось під час опрацювання даних третім способом.

Результати ідентифікації ОК за згладженими значеннями перехідних процесів із застосуванням критерію I_3 наведено в таблиці та на рис. 1, 2.

Результати ідентифікації ОК

Тестовий сигнал	Параметри моделі ОК		σ_{OK}
	k_i	T	
1(t)	0,15128	12,607	0,13656
Одиничний імпульс ($t_i=40$ с)	0,15163	13,738	0,11721

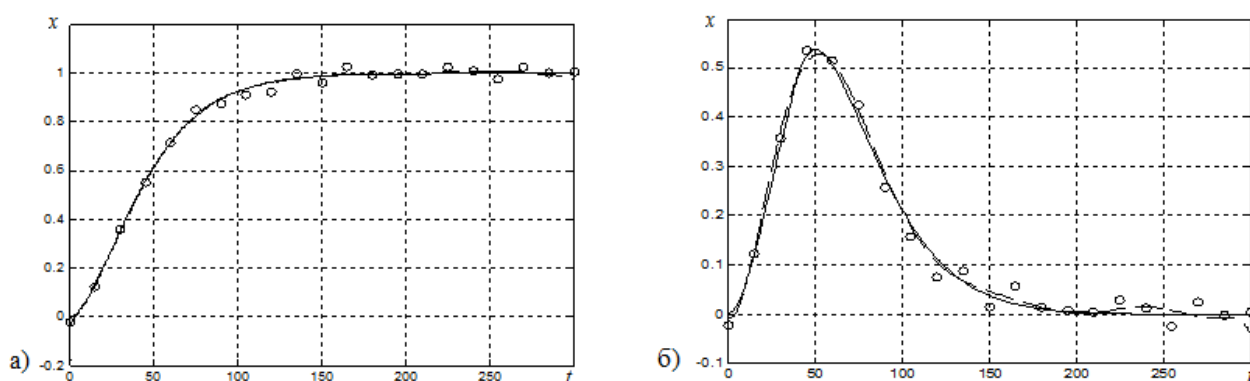


Рис. 1. Перехідні процеси замкнутої СК: а) перехідна функція; б) імпульсна перехідна характеристика ('o' – задані значення, '---' – згладжені, '—' – отримані за моделлю)

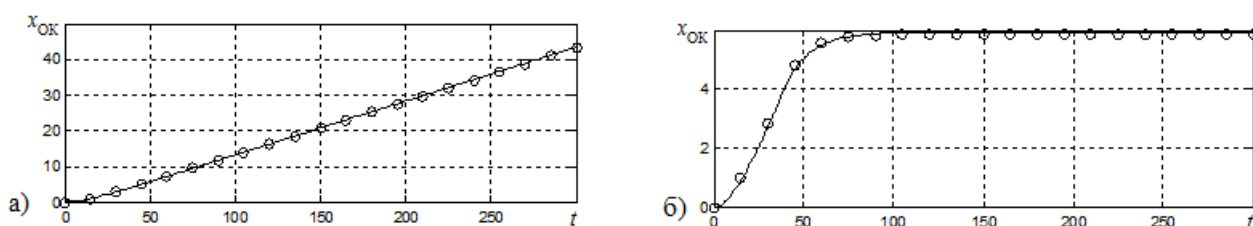


Рис. 2. Перехідні процеси ОК: а) перехідна функція; б) імпульсна перехідна характеристика ('o' – значення заданого ОК, '—' – отримані за моделлю ОК)

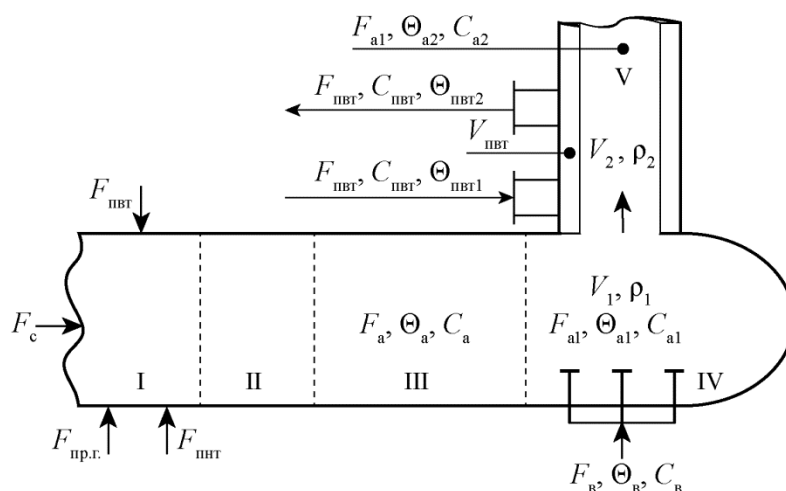
Підсумовуючи, відзначимо, що точність ідентифікації ОК за перехідними функціями СК вища у 1,3...1,4 рази при застосуванні критерію I_1 , середньоквадратичне відхилення σ_{OK} моделі, знайденої за імпульсними перехідними характеристиками за допомогою критерію I_3 , у 2...3 рази менше, ніж при застосуванні I_1 та I_2 .

ЗОНА ГАРТУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У ВИРОБНИЦТВІ САЖІ

Конончук О. В., Козаневич З. Я.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, eva.kononchuk@gmail.com

Важливими параметрами у виробництві технічного вуглецю (сажі) є дотримання температурного режиму процесу та відповідне кількісне співвідношення повітря та сировини, що подаються до зони горіння реактора для отримання пічної активної сажі [1]. Реактор умовно можна розділити на чотири основні зони [2], що послідовно переходять одна в одну, як це зображено на рисунку.



Розрахункова схема для зони гартування:

$F_c, F_{\text{пр.г}}, F_{\text{пвт}}, F_{\text{пнт}}, F_{\text{в}}, F_{\text{а}}, F_{\text{а1}}$ – витрати сировини, природного газу, повітря високого тиску, повітря низького тиску, води, аерозолу в зоні III, аерозолу в зоні IV відповідно;
 $\Theta_{\text{а}}, \Theta_{\text{а1}}, \Theta_{\text{а2}}, \Theta_{\text{в}}, \Theta_{\text{пвт1}}, \Theta_{\text{пвт2}}$ – температури в зоні III, в зоні IV, в зоні V, води, повітря високого тиску на вході у зону V, повітря високого тиску на виході із зони V відповідно;
 $C_{\text{в}}, C_{\text{а}}, C_{\text{а1}}, C_{\text{а2}}, C_{\text{пвт}}$ – теплоємність води, в зоні III, в зоні IV, в зоні V, повітря високого тиску відповідно;
 $V_1, V_2, V_{\text{пвт}}$ – об'єми в зоні IV, на вході у зону V, повітря високого тиску у зоні V відповідно;
 ρ_1, ρ_2 – тиск в зоні IV, на вході у зону V відповідно;
 I, II, III, IV, V – зони горіння, змішування, реакції, гартування та підігрівника повітря відповідно

Зона горіння I забезпечує отримання температурних умов для розкладання сировини через спалювання природного газу.

В зоні змішування II сировина вводиться в гарячі гази, що виходять із зони горіння I.

Після входу в реакційну зону III утворений аерозоль розкладається під впливом високотемпературного режиму (1400 °C), і відбувається утворення частинок сажі. Довжина зони реакції III визначається часом, який потрібен для завершення формування сажі.

Для припинення росту сажових частинок та запобігання виникненню вторинних процесів у зону гартування IV подають хімічно очищену воду, завдяки чому аерозоль охолоджується до 750 °C. На виході із зони гартування тепло аерозолу використовується для нагрівання повітря високого тиску за допомогою

підігрівника повітря. При цьому аерозоль охолоджується на 200 °С. В подальшому тепло аерозолі використовується для підігрівання повітря низького тиску, що подається в зону I.

Технологічно температура аерозолі на виході з підігрівника Θ_{a2} обмежена фізичними властивостями матеріалів наступних апаратів і тому підлягає регулюванню. Керувальним впливом є витрата води F_B .

Основними ємностями, що акумулюють тепло є: ємності аерозолі V_1 , V_2 в зоні IV і підігрівнику та ємність повітря $V_{\text{пвт}}$ в підігрівнику. Для цих ємностей складено рівняння теплових балансів:

- акумулювальної ємності аерозолі в зоні IV:

$$F_a C_a \Theta_a + F_B C_B \Theta_B - F_B r_B - (F_a + F_B) C_a \Theta_{a1} = V_1 C_a \rho_1 \frac{d}{dt} (\Theta_{a1});$$

- акумулювальної ємності зони підігріву повітря високого тиску:

$$(F_a + F_B) C_a \Theta_{a1} - KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{\text{пвт}2} + \Theta_{\text{пвт}1}}{2} \right) - (F_a + F_B) C_a \Theta_{a2} = V_2 C_a \rho_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{a1} + \Theta_{a2}}{2} \right);$$

- акумулювальної ємності повітря високого тиску:

$$F_{\text{пвт}} C_{\text{пвт}} (\Theta_{\text{пвт}1} - \Theta_{\text{пвт}2}) + KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{\text{пвт}2} + \Theta_{\text{пвт}1}}{2} \right) = V_{\text{пвт}} C_{\text{пвт}} \rho_{\text{пвт}} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{\text{пвт}1} + \Theta_{\text{пвт}2}}{2} \right).$$

Змінні параметри, що підлягають лінеаризації: регульована величина Θ_{a2} , проміжні величини Θ_{a1} та $\Theta_{\text{пвт}2}$, керувальний вплив F_B , збурення F_a .

Перетворення отриманих залежностей за Лапласом дає систему лінійних рівнянь:

$$(T_1 p + 1) \Theta_{a1}(p) = A' F_a(p) + B' F_B(p);$$

$$(T_2 p + 1) \Theta_{a1}(p) + (T_2 + C') \Theta_{a2}(p) - D' \Theta_{\text{пвт}2}(p) = E' F_a(p) + E' F_B(p);$$

$$(T_3 p + 1) \Theta_{\text{пвт}2}(p) - F' \Theta_{a1}(p) - F' \Theta_{a2}(p) = 0.$$

В результаті розв'язання системи лінійних рівнянь отримано передатні функції:

- для каналу керування $F_B \rightarrow \Theta_{a2}$

$$W_{F_B \Theta_{a2}}(p) = \frac{\Theta_{a2}(p)}{F_B(p)} = \frac{\Delta F_B}{\Delta} = \frac{(T_1 p + 1)[(T_3 p + 1)E'] - B'[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) - D'F']}{(T_1 p + 1)[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) - D'F']};$$

- для каналу збурення $F_a \rightarrow \Theta_{a2}$

$$W_{F_a \Theta_{a2}}(p) = \frac{\Theta_{a2}(p)}{F_a(p)} = \frac{\Delta F_a}{\Delta} = \frac{(T_1 p + 1)[E'(T_3 p + 1)] - A'[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) - D'F']}{(T_1 p + 1)[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) - D'F']}.$$

Отримані передавальні функції дозволяють синтезувати систему керування температурою на виході із зони гартування.

1. Зуев В. П. Производство сажи [Текст]. – 2-е изд. перераб. и доп. / В. П. Зуев, В. В. Михайлов. – М.: Химия, 1965. – 330 с. – Библиогр.: с. 327–328. – 4700 экз.

2. Ивановский В. И. Технический углерод. Процессы и аппараты [Текст]: учебное пособие / В. И. Ивановский. – Омск: ОАО «Техуглерод», 2004. – 228 с. – Библиогр.: с. 226. – 300 экз.

СИНТЕЗ НЕЙРОНЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИПАРЮВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ КРИСТАЛІЧНОГО КАРБАМІДУ МАРКИ «А»

Полковенко Б. Т., Бородін В. І., Бінецький О. Є.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, polkovenkobogdan@gmail.com

Випарювання є важливим етапом у процесі виробництва карбаміду. Цей процес відбувається у двоступеневому вакуум-випарному апараті. В роботі розглядається проектування системи керування таким апаратом як об'єктом автоматизації. Задачею керування є отримання необхідної концентрації продукту на виході за допомогою підтримання заданого температурного режиму у обох корпусах апарата [1].

Розв'язування подібних наведених задач керування ґрунтується на розробці їх математичних моделей, які визначатимуть алгоритм регулювання. Очевидно, що у разі зміни режимів роботи, зміни навантаження або завдання, наявності невизначених параметричних збурень необхідна корекція значень параметрів регуляторів, відповідно до нових умов функціонування об'єкта [2].

Штучні нейронні мережі, що реалізують адаптивні підходи в теорії керування, є оптимальними для автокорекції алгоритму регулювання. Використання нейронечіткого контролера видається доцільним для впровадження в керування складними багатофункціональними об'єктами. То ж, використавши у наведеній задачі нейронечітку систему, можна створити на її основі нейромережеву модель об'єкта, що дозволить ефективно коригувати як параметри моделі, так і параметри регулятора – відповідно до зміни умов.

Принцип роботи нейронної мережі полягає в наступному – для наявного набору параметрів створюється певна залежність між вхідними та вихідними змінними системи, отримується вибірка даних на основі моделювання ідеального об'єкта, що реалізує ці залежності, та відбувається навчання мережі за цими даними. Результатом є параметри (ваги) одержуваних функціональних відносин, за якими нейронна мережа у подальшому буде відтворювати необхідний результат.

Реалізацію зазначеної схеми в програмному середовищі *Simulink* зображено на рис. 1.

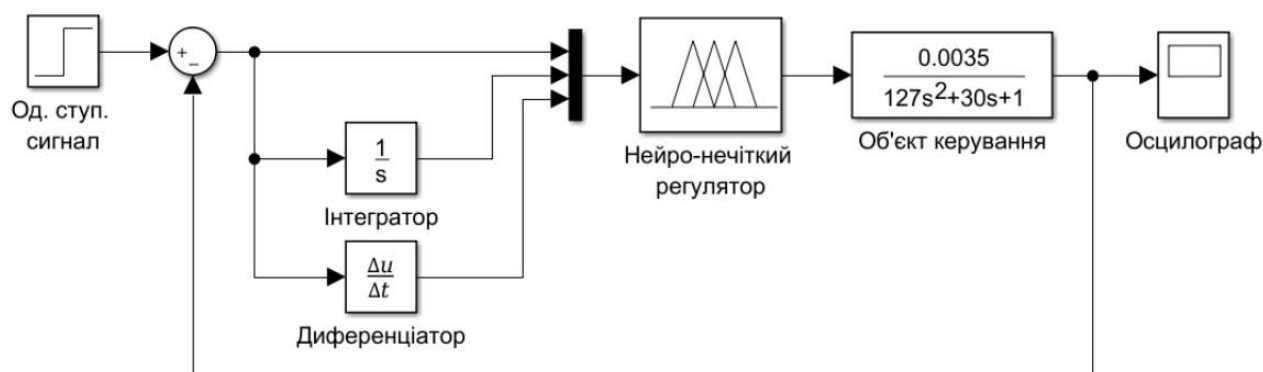


Рис. 1. Реалізація адаптивного нейронечіткого регулятора з об'єктом керування в середовищі *Simulink*

Результати роботи пропорційно-інтегрально-диференціального та нейронечіткого регуляторів зображено на рис. 2.

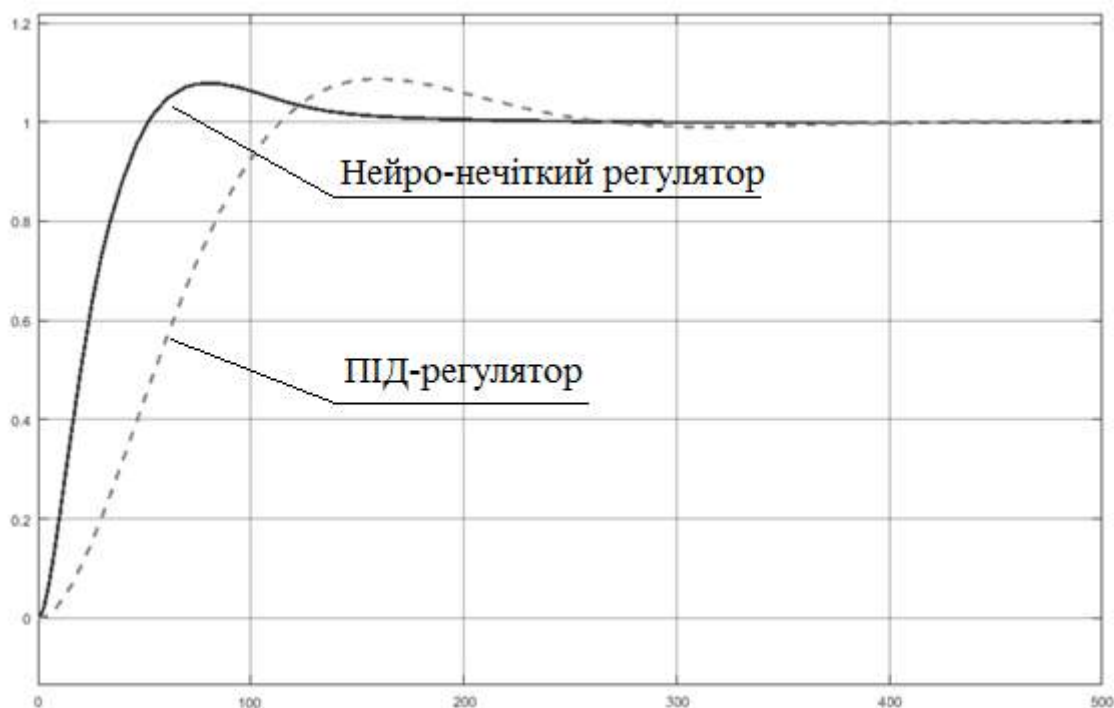


Рис. 2. Результати роботи ПД- та нейронечіткого регуляторів

Із зазначеного вище можна зробити висновки про доцільність використання нейронечіткого регулятора. Як видно з рис. 2, із введенням цього регулятора динамічні характеристики система покращуються, а саме: він забезпечує менший час виходу регульованого параметра на усталене значення, менше перерегулювання та меншу коливність.

1. Полковенко Б. Т. Система керування процесом виробництва кристалічного карбаміду марки «А» [Текст] / Б. Т. Полковенко, В. І. Бородин, О. Є. Бінецький // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Матеріали Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2017); Київ, 19–20 квітня 2017 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 204 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 149–150. – 60 пр. – ISBN 978-966-622-826-3.

2. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде *Matlab* и *fuzzyTech* [Текст] : пособие для системных аналитиков, программистов и студентов вузов / А. Ю. Леоненков. – СПб.: БХВ, 2003. – 720 с. – Библиогр.: с. 693. – 2000 экз. – ISBN 5-94157-087-2.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ *LABVIEW*

Швидкий Є. А., Ярошук Л. Д.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, e.slimetv@gmail.com

Автоматизація виробництва є одним з найважливіших етапів забезпечення його безперервної роботи з дотримання якісних показників на заданому рівні системою керування. Для розробки такої системи керування можливо застосовувати персональні комп'ютери, які з допомогою інтегрування модуля збирання даних можна перетворити в пульт керування виробництвом або лабораторний стенд для дослідження об'єктів керування та їх налаштування.

Для програмування таких технічних засобів можна використовувати поширені мови програмування *C*, *Python*, *PHP* чи інші, але даний процес вимагає високої кваліфікації користувача і є достатньо трудомістким.

Щоб полегшити програмування пристроїв було розроблено програмні засоби на основі мови програмування *Function Block Diagram (FBD)*, яка базується на принципах візуально-графічного програмування і містить бібліотеки різноманітних блоків і модулів. Одним із представників даного виду програмного забезпечення (ПЗ) є *LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench)*.

На базі зазначеного ПЗ було реалізовано елемент виробництва етилового спирту шляхом гідратації етилену, в якому температурні режими відіграють важливу роль. На рис. 1 зображено теплообмінник, який підігріває етилен водяною парою до заданої температури. Модель було розроблено на основі теплових балансів з урахуванням акумуляційних ємностей водяної пари та етилену, а також зміни у часі деяких властивостей речовин.

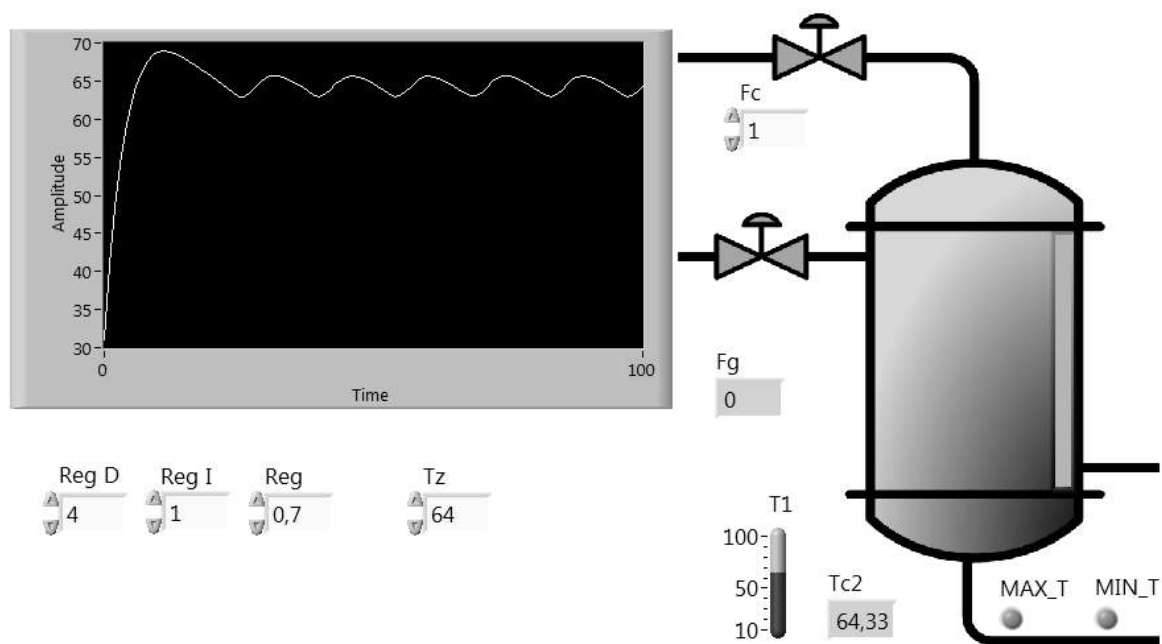


Рис. 1. Робоче поле програми *LabVIEW* з імітацією об'єкта керування

На рис. 2 зображено структуру діаграми програмного модуля з реалізацією моделі з ПІД-регулятором. Отримана реалізація дозволяє відслідковувати реакцію об'єкта керування на збурення, а також порівнювати різні варіанти систем керування.

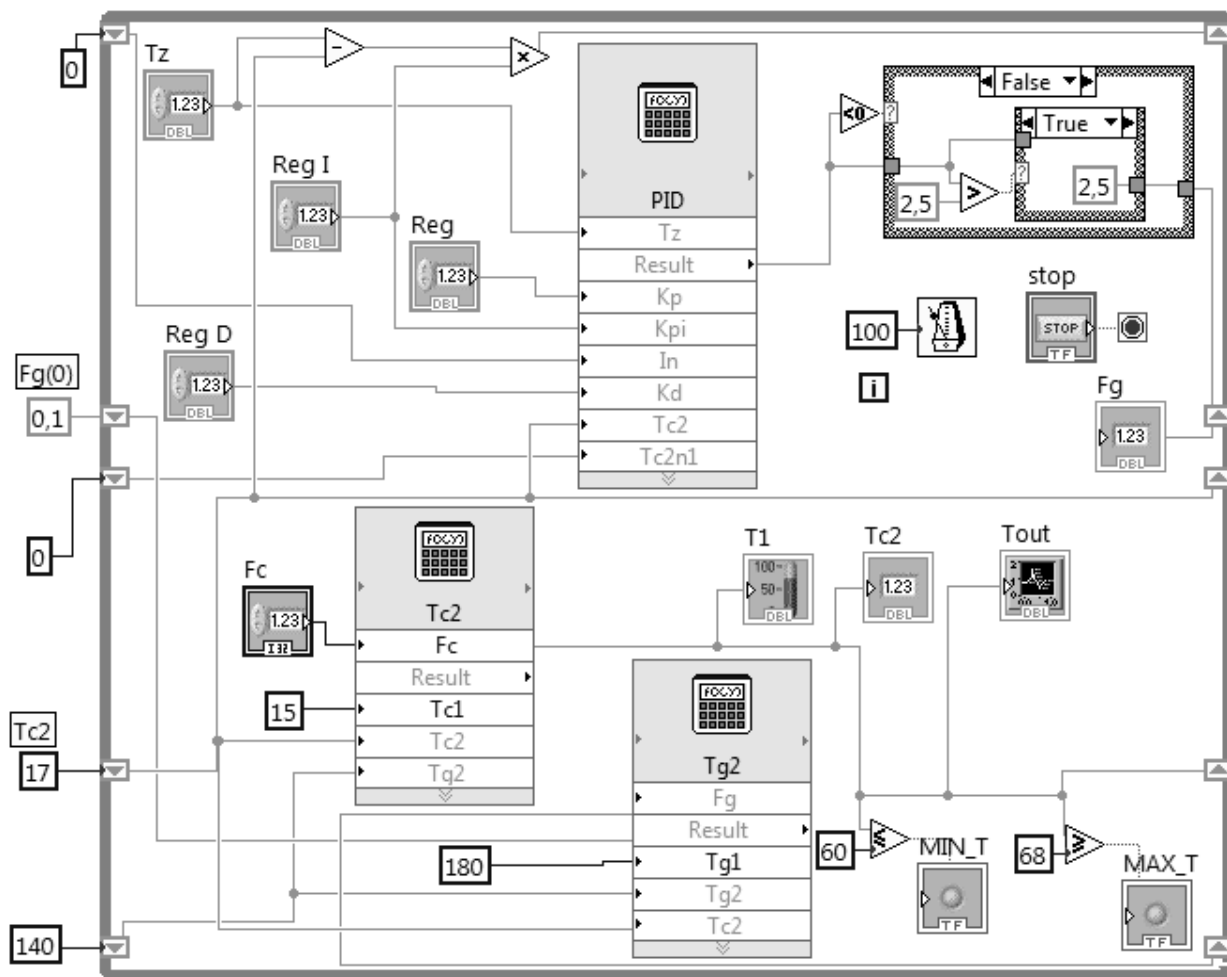


Рис. 2. Структура блочної діаграми програмного модуля

Запропонована схема в подальшому може бути реалізована на будь-якій з найбільш поширених мов програмування для тестування та впровадження у виробництво.

Отримана розробка буде використана для проектування системи автоматизації виробництва етилового спирту шляхом гідратації етилену.

КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ КРИПТОГРАФІЧНОГО АЛГОРИТМУ RSA

Ситніков О. В., КПІ ім. Ігоря Сікорського, o.sitnikov@kpi.ua

Булах О. О., Національний авіаційний університет (НАУ), sasha.avey.bulakh@gmail.com

У нинішній час забезпечити конфіденційність інформації від потенційних загроз є непростю проблемою. Здебільшого це стосується важливої інформації. Для забезпечення конфіденційності інформації використовують різні криптографічні алгоритми.

Щоб забезпечити конфіденційність було створено кодер та декодер в одному пристрої, який кодує інформацію за допомогою криптографічного алгоритму RSA [1]. За основу взято мову програмування C#.

Алгоритм RSA складається з 4 етапів:

- генерації ключів,
- шифрування,
- розшифрування,
- розповсюдження ключів.

Алгоритм використовує два ключі – відкритий (*public*) і таємний (*private*), разом відкритий і відповідний йому таємний ключі утворюють пари ключів (*keypair*).

Генерація ключів здійснюється у такій хронології [2]:

- вибираються два прості числа p і q приблизно до 512 біт кожне;
- обчислюється добуток $n=pq$;
- обчислюється функція Ейлера $\varphi(n)=(p-1)(q-1)$,
- вибирається ціле число e таке, що $1 < e < \varphi(n)$,
- за допомогою розширеного алгоритму Евкліда знаходиться число d таке, що $ed = 1 \pmod{\varphi(n)}$.

Наступним етапом є шифрування тексту, використовуючи відкритий ключ, за допомогою рівняння: $c=m^e \pmod{n}$.

Для розшифрування повідомлення необхідно обчислити таку рівність: $c=m^d \pmod{n}$.

Наприклад, зашифруємо повідомлення «Добрий день», використовуючи у відкритому ключі $p = 7$ і $q = 13$, а секретний ключ $d = 71$, тоді $n = pq = 91$. Закодоване повідомлення видало ряд чисел 73 74 46 86 82 58 83 73 76 85 7 з урахуванням відступів. У результаті розшифровування буде виведено «Добрий день».

Представлений алгоритм кодування даних забезпечує їх безпечно передачу та конфіденційність.

1. Генерация ключей – поиск простых чисел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/119637/>, своб. – Загл. с экрана. – Язык рус.

2. Криптография – специальная система изменения простого листа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/2983620/>, своб. – Загл. с экрана. – Язык рус.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АЛКІЛАТОРОМ З ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ У СЕРЕДОВИЩІ *SIMULINK*

Клуста Т. В., Козаневич З. Я.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, tanklusta@ukr.net

Розв'язування задач керування складними технічними системами та об'єктами ґрунтується на розробці їх математичних моделей, які в подальшому визначають алгоритм керування. Однак, за змінних режимів роботи, зміни навантаження або завдання, наявності невизначених параметричних збурень необхідна корекція значень параметрів регуляторів відповідно до нових умов функціонування об'єкта.

Система *Simulink* є складовою частиною системи *Matlab* і призначена для структурно-графічного моделювання різних динамічних об'єктів, як безперервних, так і дискретних. Об'єкт моделювання представляється у вигляді сукупності готових, закінчених блоків, між якими встановлюються зв'язки по типу «вхід-вихід». У побудові моделі такі зв'язки зображуються просто стрілками.

Для отримання ізопропілбензолу проводять процес алкілування бензолу пропіленом в апараті колонного типу (алкілаторі). Завданням керування процесу є підтримання заданої концентрації алкілату на виході з апарата x_a за постійної температури в алкілаторі Θ . Керувальні впливи – витрата пропілену F_p (для x_a) та витрата води на охолодження F_v (для Θ).

Розгляд алкілатора бензолу як технологічного об'єкта керування* дозволив виявити основні взаємозв'язки між параметрами цього процесу, зокрема передавальні функції для каналів керування і збурення.

Перехідну функцію каналу «витрата пропілену – концентрація алкілату на виході з апарату» визначали, перетворивши за Лапласом лінеаризоване рівняння по алкілату:

$$x_a(p)(Tp + 1) = F_p(p)K_{Fp x_a}.$$

Передавальна функція за каналом керування $F_p \rightarrow x_a$:

$$W_{F_p \rightarrow x_a}(p) = \frac{K_{Fp \rightarrow x_a}(p)}{Tp + 1};$$

$$W_{F_p \rightarrow x_a}(p) = \frac{8,469}{0,2416p + 1}.$$

Реалізація ПДД-закону пов'язана із застосуванням пружного зворотного зв'язку. Такі регулятори значно поліпшують якість регулювання, особливо якщо об'єкт має велике запізнення та інерційність. Налагоджувальні параметри k_p , T_i та T_d регулятора зумовлюють вигляд і якість перехідного процесу системи регулювання та динамічні властивості об'єкта.

* Клуста Т. В. Алкілатор бензолу як технологічний об'єкт керування [Текст] / Т. В. Клуста, З. Я. Козаневич // V Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студ. (АКІТ-2018), м. Київ, 11–12 квіт. 2018 р. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 168 с. – ISBN 978-966-622-884-3.

Складемо схему керування «витрата пропілену – концентрація алкілату на виході з апарату» з ПІД-регулятором:

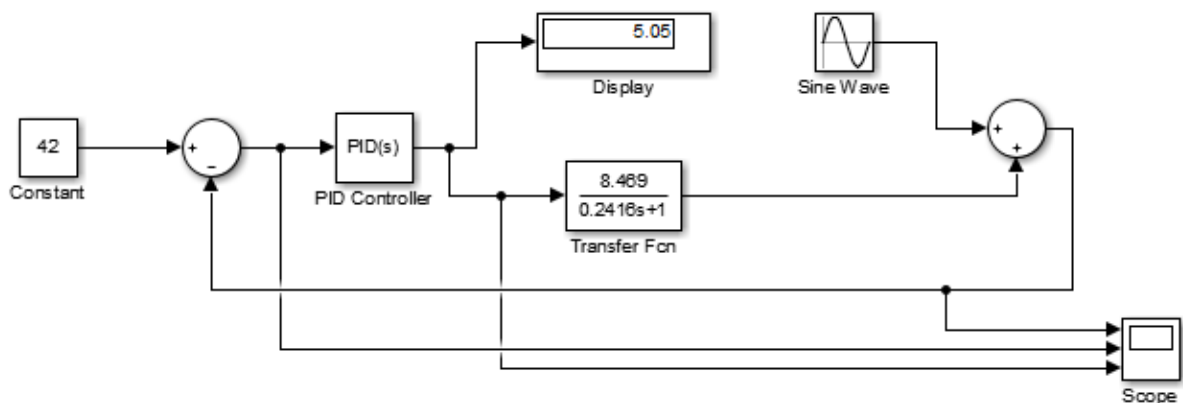


Рис. 1. Схема системи керування з ПІД-регулятором

Задавши необхідні параметри для об'єкта керування, задавача та ПІД-регулятора, отримаємо графіки, наведені на рис. 2.

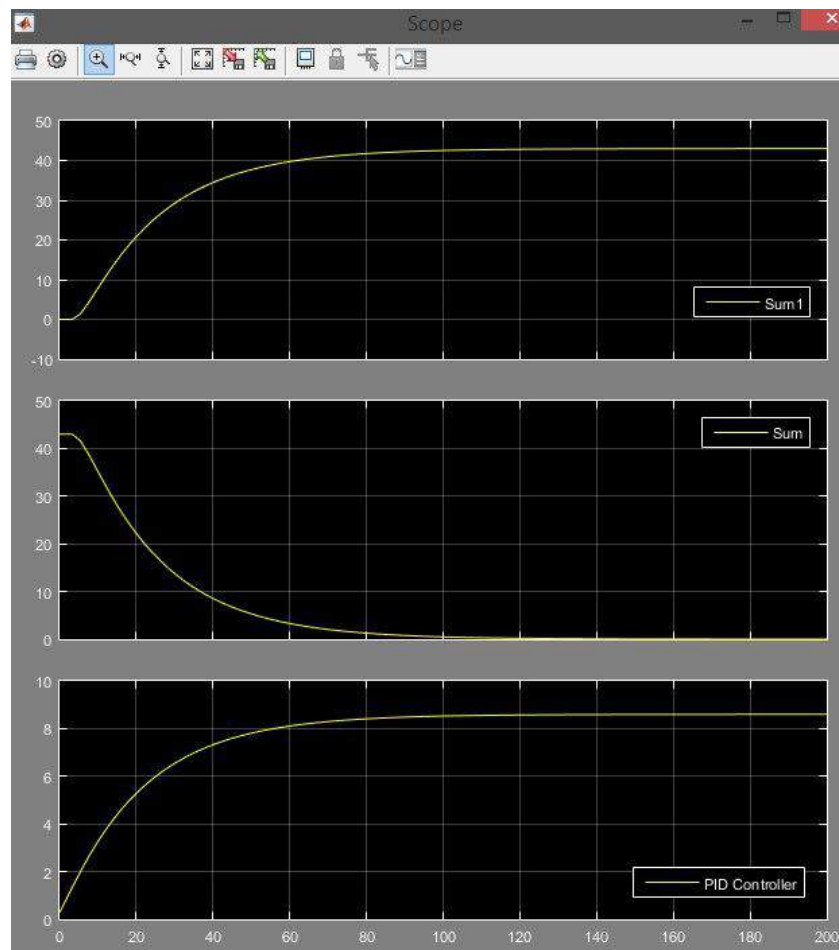


Рис. 2. Результат роботи: *Sum1* – реакція системи на керування; *Sum* – похибка керування; *PID Controller* – перехідна характеристика ПІД-регулятора

За даними результатами можна зробити висновок, що замкнута система виходить на задане значення керуваного параметра і є повністю керованою. Також вона стійка, що є найважливішим для нашого дослідження.

ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ ОЛИВ ТА МАСТИЛ

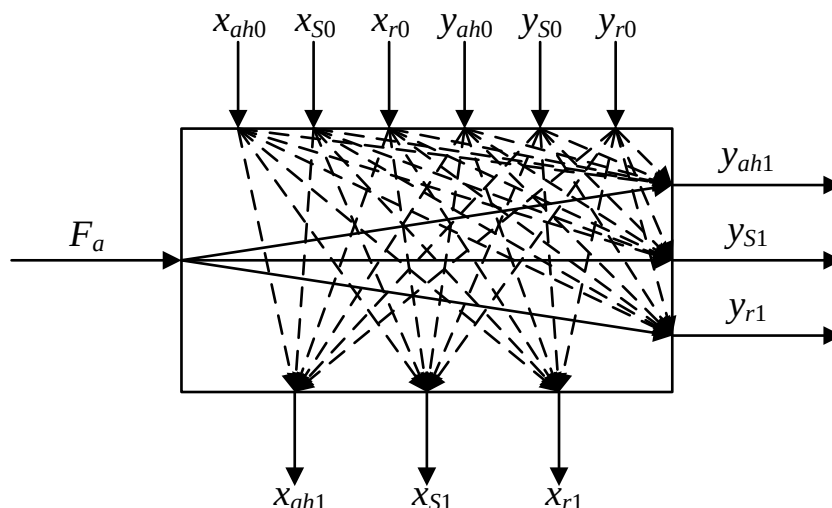
Тюріна Є. О., Ярощук Л. Д.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, eugenia.turina@gmail.com

З огляду на широке застосування нафтових олив та мастил у різних промислових сферах, важливим є забезпечення високого ступеня їх очищення від небажаних компонентів (важких ароматичних вуглеводнів, смол, сірчистих з'єднань). Оскільки в зазначеному технологічному процесі в довілля виділяються шкідливі речовини, до яких належать легкозаймисті, отруйні та ті, що мають канцерогенні властивості, то актуальним є створення таких засобів інформаційного та математичного забезпечень, які дозволять у режимі нормальної експлуатації обладнання розв'язувати задачі оптимального керування, пов'язані з якістю готового продукту та зменшенням забруднення довілля.

Метою роботи є формування сукупності задач та створення моделей процесу очищення олив та мастил, у тому числі імітаційних, для підвищення ефективності автоматичних систем керування, врахування положень концепції сталого розвитку щодо викидів шкідливих речовин на виробництві та забезпечення вимог, встановлених до якості вихідного продукту [1].

Розрахункову схему технологічного процесу зображено на рисунку. У вхідні трубопроводи потрапляють два потоки – суміш сировини й розчинника та адсорбент. На виході адсорбера – рафінат та забруднений адсорбент.



Розрахункова схема адсорбера:

F_a – керувальний вплив; x_{ah0} , x_{s0} , x_{r0} , y_{ah0} , y_{s0} , y_{r0} – збурення; y_{ah1} , y_{s1} , y_{r1} – регульовані величини; x_{ah1} , x_{s1} , x_{r1} – контрольовані величини

Технологічними змінними, які характеризують робочий стан адсорбера, є вміст шкідливих речовин у вихідному продукті (розчині рафінату): ароматичних вуглеводнів (y_{ah1}), сірки (y_{s1}) та смол (y_{r1}). Оскільки ці показники визначають ефективність процесу адсорбції, то необхідно підтримувати їх у заданих межах (по можливості – стабілізувати).

Керувальним впливом обрано витрату адсорбенту (F_a) на вході в апарат. Основними збуреннями є вміст шкідливих речовин в адсорбенті та суміші сировини й розчинника на вході в апарат відповідно: ароматичних вуглеводнів (x_{ah0} , y_{ah0}), сірки (x_{s0} , y_{s0}) та смол (x_{r0} , y_{r0}).

Контрольованими змінними є вміст ароматичних вуглеводнів (x_{ah1}), сірки (x_{s1}) та смол (x_{r1}) у забрудненому адсорбенті.

Концепція сталого розвитку передбачає розв'язання задач оптимального керування за економічним, екологічним та соціальним критеріями. Для цієї задачі необхідні моделі статичних режимів технологічних процесів. Моделюванню підлягають функції мети, пов'язані з критеріями, а також ті, які описують обмежувальними виразами, зокрема, залежність показників якості від технологічних змінних. Імітаційна модель буде використана для порівняння систем керування.

Для підвищення ефективності роботи систем керування необхідні моделі динаміки каналів керування та збурення; такі моделі мають давати можливість корегувати їх в умовах неперервної роботи обладнання.

Під час моделювання статичного та динамічного режимів адсорбера були прийняті такі припущення: витрати суміші сировини й розчинника та адсорбенту внаслідок перерозподілу ароматичних вуглеводнів, сірки та смол між ними не змінюються: $F_{m0} = F_{m1} = F_m$, $F_{a0} = F_{a1} = F_a$; розчинник на гідрозатвор, який подають у нижню частину адсорбера для попередження виносу сировини з апарата, не впливає на перебіг процесу адсорбції, тому цей технологічний потік у моделі не враховують; температура адсорбенту, що покидає апарат, дорівнює її температурі всередині адсорбера; температура сировини, яку було вивантажено з апарата, дорівнює її температурі всередині адсорбера; розподіл концентрацій ароматичних вуглеводнів, сірки та смол в суміші сировини й розчинника та адсорбенті є одномірним (у напрямку руху потоку сировини) та лінійним.

На основі матеріальних балансів для потоків суміші сировини й розчинника та адсорбенту, які враховують окремо вміст ароматичних вуглеводнів, сірки та смол, було отримано математичні моделі статичного та динамічного режимів роботи за каналами керування та збурення.

У подальших дослідженнях буде виконано перевірку на адекватність отриманої математичної моделі та за її допомогою налаштовано систему керування [2], яка задовольнить вимоги, встановлені до якості оливи або мастила, й дозволить розв'язувати задачі оптимізації, що враховують економічну та екологічну складові концепції сталого розвитку.

1. Иванова Л. В. Технология переработки нефти и газа [Текст] : учеб. пособие для нефт. техникумов / Л. В. Иванова, И. И. Корнеев, В. Н. Юзбашев. – М. : Химия, 1966. – 419 с. : ил. – Библиогр.: с. 406–408. – 8500 экз.

2. Спосіб автоматичного керування процесом очищення олив та мастил адсорбентами [Текст] : пат. 128760, Україна : МПК⁶ C10G 25/05, C10G 71/00, B01D 15/00, G01N 33/28 / Є. О. Тюріна, Л. Д. Ярошук ; заявник і патентовласник КПП ім. Ігоря Сікорського. – № U201802946 ; заявл. 23.03.2018 ; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19. – 3 с. : іл.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ ТЕПЛООБМІННИКА У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНОЛУ

Ковалюк Д. О., Кондратова В. І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, vikondratova1029@gmail.com

У процесі виробництва метанолу за зниженого тиску дуже важливим є підтримання температурного режиму, оскільки за низьких температур швидкість процесу синтезу настільки мала, що не існує каталізатора, який би міг його прискорити. Підтримання температури забезпечується теплообмінником-підігрівачем. Для створення ефективної системи керування підігрівачем необхідно отримати математичну модель каналу керування.

Структурно-параметричну схему теплообмінника для синтез-газу перед реактором наведено на рис. 1.

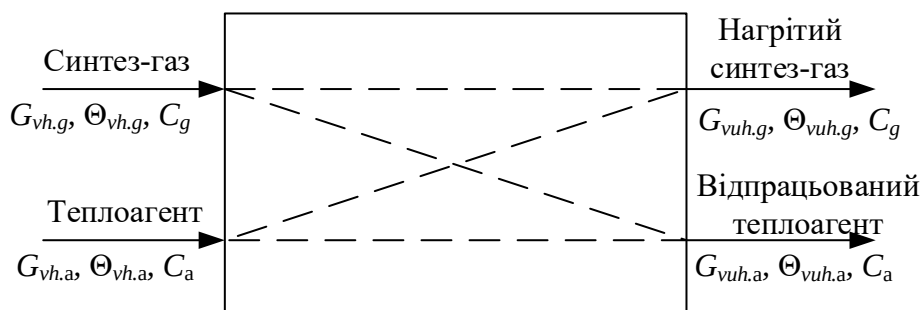


Рис. 1. Структурно-параметрична схема теплообмінника:

$G_{vh.g}$, $\Theta_{vh.g}$, C_g – витрата, температура, питома теплоємність синтез-газу відповідно; $G_{vh.a}$, $\Theta_{vh.a}$, C_a – витрата, температура, питома теплоємність теплоагента відповідно; $G_{vuh.g}$, $\Theta_{vuh.g}$ – витрата та температура нагрітого синтез-газу відповідно; $G_{vuh.a}$, $\Theta_{vuh.a}$ – витрата та температура відпрацьованого теплоагента відповідно

За технологією виробництва метанолу необхідно, щоб температура підігрітого синтез-газу на виході становила 250..300 °С. Регулювання температури здійснюватимемо через канал «витрата теплоагента – вихідна температура суміші».

Виходячи зі структурно-параметричної схеми об'єкта, запишемо рівняння статички у вигляді

$$G_a C_a \Theta_a^{BX} + G_r C_r \Theta_r^{BX} - G_r C_r \Theta_r^{BIX} - G_a C_a \Theta_a^{BIX} = 0. \quad (1)$$

Основні параметри статичного режиму наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри статичного режиму об'єкта

Назва параметру	Позначення	Значення
Масова витрата синтез-газу на вході в теплообмінник, кг/с	G_r	13
Питома теплоємність синтез-газу, кДж/(кг·К)	C_r	7533
Температура синтез-газу на вході в теплообмінник, °С	Θ_r^{BX}	200
Масова витрата теплоагента на вході в теплообмінник, кг/с	G_a	7
Питома теплоємність теплоагента, кДж/(кг·К)	C_a	3814
Температура теплоагента на вході, °С	Θ_a^{BX}	300
Температура синтез-газу на виході, К	Θ_r^{BIX}	300
Температура теплоагента на виході, К	Θ_a^{BIX}	87,958

З рівняння (1) виведемо рівняння динаміки, де вхідним параметром є G_a , а вихідним – $\Theta_r^{\text{вих}}$:

$$G_a C_a \Theta_a^{\text{вх}} + G_r C_r \Theta_r^{\text{вх}} - G_r C_r \Theta_r^{\text{вих}} - G_a C_a \Theta_a^{\text{вих}} = V \rho C_r \frac{d\Theta_r^{\text{вих}}}{dt}, \quad (2)$$

де V – об'єм синтез-газу, що проходить через теплообмінник за визначений проміжок часу; ρ – густина синтез-газу.

Виконаємо перетворення рівняння (2) за Лапасом:

$$V \rho C_r \Theta_r^{\text{вих}}(p) + G_r C_r \Theta_r^{\text{вих}}(p) = G_a(p) C_a \Theta_a^{\text{вх}} - G_a(p) C_a \Theta_a^{\text{вих}};$$

Розмежуємо входи і виходи та отримаємо передавальну функцію каналу керування:

$$\Theta_r^{\text{вих}}(p)(Tp + 1) = G_a(p)k; \quad T = \frac{V\rho}{G_r} = 609; \quad (3)$$

$$k = \frac{C_a \Theta_a^{\text{вх}} - C_a \Theta_a^{\text{вих}}}{G_r C_r} = 8,26. \quad (4)$$

Виходячи з рівнянь (3) та (4), передавальна функція каналу керування «витрата теплоагента – температура вихідної суміші» матиме вигляд:

$$W_{\text{кер}}(p) = \frac{k}{Tp+1} = \frac{8,26}{609p+1}.$$

Порівняємо реакцію об'єкта керування на зміну входу на одиницю (одиничний ступінчастий сигнал) в статичному (рис. 2) та динамічному (рис. 3) режимах. Значення зміни вихідної величини за лінійної моделі мають збігатися, проте в динамічному режимі на це потрібен час, що пояснюється інерційністю об'єкта (кількісно виражається сталою часу T).

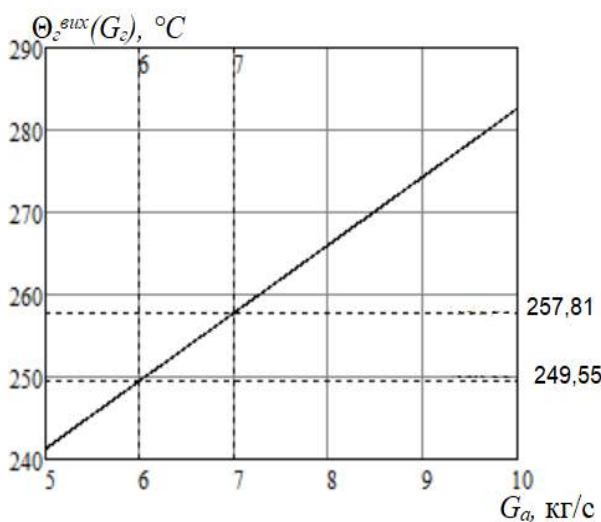


Рис. 2. Статична характеристика

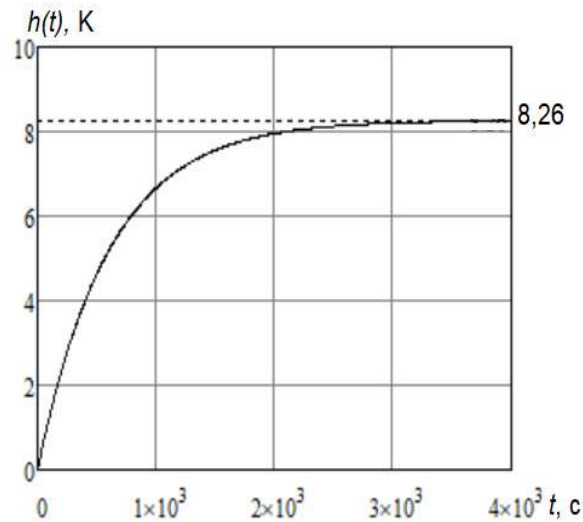


Рис. 3. Динамічна характеристика

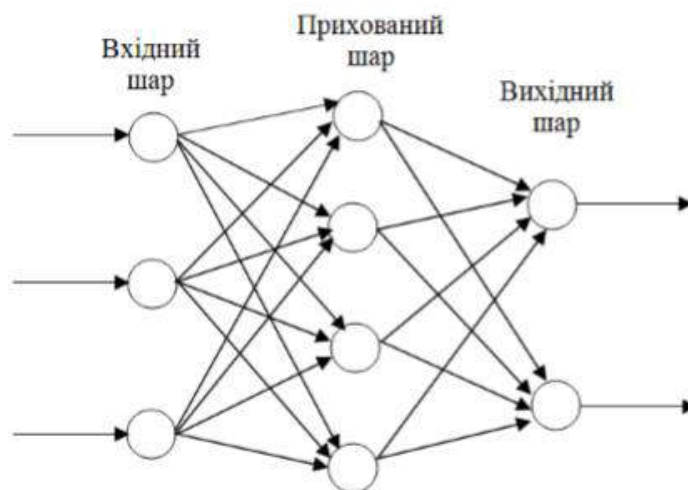
Як видно з наведених графіків, реакція на зміну вхідного сигналу на графіку статичної характеристики збігається з коефіцієнтом підсилення передавальної функції каналу керування, отже передавальна функція підігрівача є правильною. Таким чином, її можна використовувати для синтезу системи керування.

АВТОАСОЦІАТИВНИЙ ДАТЧИК *MLP* ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОНОВЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Ситніков О. В., КПП ім. Ігоря Сікорського, o.sitnikov@kpi.ua,

Ключко А. Р., Національний авіаційний університет (НАУ), klutskonastia1998@gmail.com

Аутентифікація користувача є складним завданням з точки зору класифікації шаблонів. Це проблема двох класів (власники і самозванці), але шаблони тільки з одного класу доступні власнику заздалегідь. Оскільки існують безліч потенційних загроз відкриття інформації, недоцільно отримувати достатню кількість зразків від всіляких самозванців. Ми пропонуємо використовувати мультиплесерний перцептрон (*MLP*) для перевірки особистості. *MLP* – це графічна обчислювальна модель, поява якої була проініційована обробкою інформації в мозку [1].



Структура графічної обчислювальної моделі

Одиниця або вузол моделює нейрон, в той час як з'єднання або ребро моделює синапс. Одиниці розташовані в трьох різних шарах, а саме: вхідний, прихований і вихідний. Кожен елемент отримує вхідні дані від всіх елементів в попередньому шарі, обчислює свої вихідні дані і відправляє їх всім елементам наступного шару. Зокрема, вихідний x_i одиниці i обчислюється так:

$$y = f(\sum_1^n w_i x_i);$$

$$f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)}.$$

Тут x_i – входи, $i = 1, 2, \dots, n$; y – виходи; f – нелінійна функція перетворення чи функція активації; w_i – ваги, $i = 1, 2, \dots, n$.

Відомо, що *MLP* є універсальним апроксиматором функцій, тобто здатний пристосовуватися до будь-якої неперервної функції з бажаною точністю, якщо є достатньо даних для навчання. Для заданого набору пар введення-виведення має бути знайдений *MLP*, який відображає дані, тобто який створює ці-

льовий вихідний вектор при поданні з вхідним вектором. Цей процес пошуку параметрів моделі, в даному випадку w_{ij} , називається навчанням [2].

Автоасоціативна *MLP* являє собою мультиплеєрний персептрон, де вхідні вектори також використовуються як цілі під час навчання. Далі мережа змушена якимось чином кодувати вхідний вектор у прихованому шарі, а відтак декодувати його назад у вихідний шар. Цю модель використовується для перевірки ідентичності наступним чином. Шаблони власника використовуються для навчання мережі перетворенню в автоасоціатор з використанням вектора синхронізації в ролі вхідних і вихідних даних. *MLP* навчений кодувати певні властивості, присутні тільки в векторах синхронізації власника на прихованому рівні. У разі надходження раніше невидимого тимчасового вектора для власника мережа видасть вектор, який досить близький до вхідних даних. Однак під час вступу шаблону шахрая мережа видасть вектор, який далекий від введення.

Потім ми використовуємо цю властивість для розрізнення зразка як справжнього або підробленого. Таким чином, часовий вектор X класифікується як власник, якщо $\|X - M(X)\| < \epsilon$, де $M(X)$ і представляє вихідний сигнал *MLP* для X і порогового значення. Запропонований автоасоціативний підхід *MLP* порівнювався з більш традиційним підходом «Найближчих сусідів» (*NN*). Коли надходить новий вектор синхронізації, обчислюється середня «відстань» до k найближчих навчальних шаблонів. Якщо середня відстань менша за попередню певного порогу, вектор синхронізації класифікується як вектор власника. В іншому разі він класифікується як самозванець.

Детектор новизни на основі *MLP* пропонується для аутентифікації користувача з використанням динаміки натискання клавіш. Автоасоціативна *MLP* будується з набору векторів синхронізації, раніше зібраних у власника. Коли надходить новий вектор синхронізації, він представляється *MLP*, і висновок обчислюється. Якщо вихідні дані досить близькі до введених, вектор синхронізації входу класифікується як вектор власника. Якщо ж ні, то він класифікується як самозванець.

Результати експериментів за участю 21-го піддослідного користувача показують, що запропонований підхід значно ефективніший, ніж підхід з використанням k -*NN*. Такий підхід був також реалізований у всесвітній мережі, доводячи, що схема може використовуватися для додатків електронної торгівлі, систем керування виробництвом тощо.

1. Obaidat M. Verification of computer users using keystroke dynamics [Text] / M. Obaidat, S. Sadoun // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, part B: Cybernetics. – 1997. – Vol. 27, no. 2. – Pp. 261–269.

2. Hwang B. Output characteristics of autoassociative MLP and its application in novelty detection [Text] / B. Hwang, S. Cho // in Proceedings of Korea Information Science Society. – 1998. – Vol. 25, no. 11. – Pp. 581–583.

КЕРУВАННЯ ХІМІЧНИМ РЕАКТОРОМ У ВИРОБНИЦТВІ КАРБАМІДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Левченко П. І., Бородін В. І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, britt66613@gmail.com

Нейрокерування динамічними об'єктами – є новим перспективним напрямком, який створено на базі таких дисциплін як автоматичне керування, штучний інтелект та нейрофізіологія. Нейронні мережі мають ряд унікальних властивостей, які роблять їх потужним інструментом для створення систем керування: здатність до навчання на прикладах та узагальнення даних, здатність адаптуватися до зміни властивостей об'єкта керування та зовнішнього середовища, придатність для синтезу нелінійних регуляторів, висока стійкість до пошкодження власних елементів завдяки закладеному в нейромережах архітектуру паралелізму. Ключовою проблемою у вирішенні задач керування динамічними об'єктами є реалізація моделі інверсної динаміки керованого об'єкта. Аналітичне розв'язання цієї задачі не завжди можливе, оскільки необхідне обернення причинно-наслідкових зв'язків поведінки реального об'єкта. Застосування нейронних мереж дозволяє знаходити наближені рішення цієї задачі шляхом навчання на прикладах керування реальним об'єктом. При використанні прямих методів нейрокерування, а саме в методі узагальненого інверсійного керування це досягається шляхом безпосереднього навчання нейронної мережі на прикладах поведінки керованого об'єкта.

В процесі виробництва карбаміду досліджуванним об'єктом є хімічний реактор, складність моделі якого зумовлюється великою кількістю хімічних реакцій всередині апарата, кожна з яких безпосереднього впливає на якість продукту на виході. Застосування нейромереж для керування якістю продукту на виході дасть змогу керувати процесом більш ефективно, а також допоможе встановити необхідне керування процесами всередині реактора в критичних ситуаціях через вірогідну несправність одного з елементів системи, що під час розробки автоматичного керування для реактора дасть необхідну якість у будь-якій ситуації, яка може статися на виробництві.

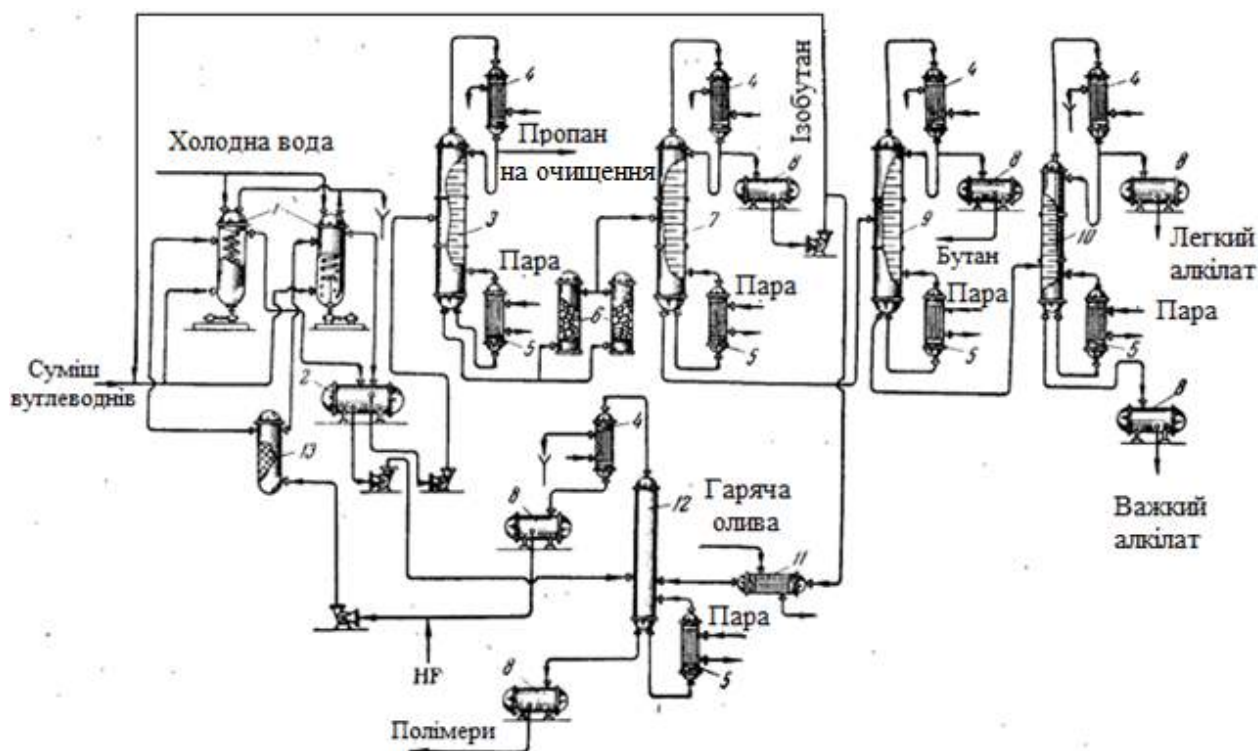
Моделювання кожного апарату на виробництві та контроль усіх процесів у ньому за допомогою нейронних мереж дасть змогу створити універсальний інструмент для контролю за всім виробництвом, який зможе пристосовуватися до різних критичних ситуацій, що можуть статися на виробництві, та продовжити виробництво без втрати якості кінцевого продукту.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ АЛКІЛУВАННЯ ІЗОБУТАНУ БУТИЛЕНАМИ У ПРИСУТНОСТІ ФТОРИСТОГО ВОДНЮ

Загребельний Д. В., Ситніков О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, zdv19981@gmail.com

Процес алкілування ізобутану бутенами реалізовано у промисловості наприкінці 30-х років минулого століття практично одночасно з широкомасштабним становленням каталітичного крекінгу на алюмосилікатних каталізаторах. Схему технологічного процесу алкілування ізобутану бутіленами для одержання ізомерних октанів у присутності фтористого водню* наведено на рисунку. Основним апаратом технологічного процесу є теплообмінник-підігрівник для підготовки фтористого водню. Необхідно провести аналіз технологічної схеми та виявити основні контури контролю та керування підігрівником.



Технологічна схема процесу алкілування ізобутану бутіленами у присутності фтористого водню: 1 – контактні апарати; 2 – відстійник; 3 – депропанізатор; 4 – конденсатори; 5 – кип'ятильники; 6 – колони, заповнені бокситом; 7 – деізобутанізатор; 8 – збірники; 9 – дебутанізатор; 10 – ректифікаційна колона; 11 – підігрівник; 12 – регенератор HF; 13 – зневоднювальна колона

Вихідну суміш ізобутану та бутіленів (вагове співвідношення 7:1), заздалегідь осушену за допомогою силікагелю або алюмогелю, спрямовують в кон-

* Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза [Текст] : учеб. пособие / И. И. Юкельсон ; под ред. Урывалова Н. И. – Химия, 1968. – 848 с. – Библиогр.: с. 113–114. – 3000 экз.

тактні апарати 1; сюди ж подають рідкий фтористий водень. Співвідношення кількості фтористого водню та вуглеводнів у реакційній зоні становить 1,2 : 1 (за вагою). Процес алкілування проводять за температури 30...40 °С, під тиском 10...11 атм. Для регулювання температурного режиму процесу в змійовики контактних апаратів подають холодну воду. Тривалість контакту реагентів становить близько 15 хв. З контактного апарата суміш вуглеводнів і рідкого фтористого водню надходить у відстійник 2, де розшаровується. Фтористий водень з нижньої частини відстійника перекачується в апарат 12 на регенерацію, а вуглеводні надходять у колону 3 (депропанізатор) для відгонки пропану, що міститься у вихідній сировині.

Відігнаний пропан після очищення від фтористого водню спрямовують на використання. Вуглеводні, які витікають з нижньої частини депропанізатора, проходять заповнені бокситом колони 6 для видалення слідів фтористого водню, після чого надходять у колону 7 (деізобутанізатор), де відбувається відгонка ізобутану. Ізобутан, який сконденсувався, перетікає в збірник 8, звідки його повертають у контактні апарати 1. Кубовий залишок з деізобутанізатора 7 спрямовують у колону 9 (дебутанізатор) для відгонки н-бутану, який виводять із системи та спрямовують на використання. Кубовий залишок з дебутанізатора, що складається з продуктів алкілування (алкілат), піддають ректифікації в ректифікаційній колоні 10. Дистилят, який відганяють з цієї колони в інтервалі температур 84...188 °С, є якісним моторним паливом (октанове число 90). Кубовий залишок, що витікає з колони 10, переганяється пофракційно в температурному режимі 213...324 °С. Він також може бути використаний як паливо для двигунів внутрішнього згорання.

Фтористий водень ретельно регенерують. Його відокремлюють в регенераторі 12 від полімерів віддувкою парами ізобутану, попередньо підігрітим у теплообміннику 11 гарячими оливами (180...200 °С). Суміш ізобутану та фтористого водню надходить з регенератора в зневоднювальну колону 13 і далі спрямовується в реактори 1.

У подальшому для автоматизації процесу алкілування ізобутану бутиленами у присутності фтористого водню необхідно розробити систему автоматичного контролю температури парів ізобутану на виході з теплообмінника 11 шляхом регулювання витрати гарячої оливи, а також систему регулювання температури дистиляту в ректифікаційній колоні 10 і кубового залишку, що витікає з цієї колони. Систему контролю рівня необхідно розробити також для збірників 8. Слід також забезпечити регулювання температури виходу з кип'ятильників 5 зміною подачі пари.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ВИПАРЮВАННЯ НА КОЛЬОРОВІСТЬ ЦУКРОВОГО СОКУ

Данькевич А. О., Колоскова О. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, o.o.koloskova@gmail.com

Цукор являє собою поєднання виробництва цукрового буряку та його переробки. Без ефективної переробної промисловості навіть найкращі врожаї буряку не принесуть користі. Поля, які можуть давати 80...90 т цукрового буряку з гектара, можуть також давати найвищі врожаї, скажімо, пшениці, соняшнику чи інших культур. Якщо прибуток, що його можна одержати від пшениці чи іншої культури, перевищує прибуток від цукрового буряку, тоді цукру ми не отримаємо. Сучасний цукровий завод – це не тільки близько тисячі робочих місць, а й джерело теплової та електричної енергії, своєрідна теплоелектростанція, яка освітлює та зігріває довколишні селища та міські райони. Середній цукровий завод в Україні може переробляти 2670 т цукрових буряків на день, що майже втричі менше, ніж в середньому по країнах ЄС, де переробляються 7500 т на день. Лише 19 із 192 заводів в Україні мають потужність понад 5000 т на день [1]. Багато українських цукрових заводів працюють на надзвичайно застарілому устаткуванні. Зі 192 цукрових заводів 58 було збудовано ще до 1860 року.

Білий цукор, що виробляється в Україні, як правило, не відповідає міжнародним стандартам (вміст золи, колір, зернистість), тому на міжнародному ринку його можна продати лише зі знижкою. У обраному процесі випарювання спостерігається підвищення кольоровості соку внаслідок перетворень вуглеводів, що прямо впливає на показник якості цукру. Задачею дослідження буде підвищення якості цукру на українських заводах за рахунок унормування показника кольоровості.

Сік, що надходить на випарювання, є насиченим розчином важко розчинних солей кальцію [2]. У міру згущення ці солі випадають із розчину в осад. На початку випарювання бікарбонати інтенсивно розкладаються й утворюється вуглекислий кальцій. У процесі випарювання концентрація карбонат-іона збільшується, що також призводить до утворення осаду карбонату кальцію. У результаті розкладання оксамитової кислоти утворюється нерозчинний оксалат кальцію. Розчинність багатьох солей (гіпсу, оксалату кальцію й ін.) з підвищенням концентрації сахарози зменшується, і вони випадають в осад. Нерозчинні солі кальцію частково випадають у процесі випарювання на поверхні нагрівання, внаслідок чого погіршується теплопередача й знижується продуктивність випарної установки. Це призводить до нездатності точно контролювати показник кольору.

Виробництво цукру в Україні потребує суттєвих змін. Очевидно, що реконструкцію та модернізацію слід здійснити насамперед на тих ділянках техноло-

гічного процесу переробки цукрових буряків, де можна очікувати принципово позитивного впливу на споживання теплової й електричної енергії. Одночасно досягається істотне підвищення якості як проміжних продуктів, так і кінцевого, а також підвищення економічних параметрів їх виробництва. Одним з найбільш ефективних способів зупинки утворення фарбувальних речовин є повний розклад редуційовальних цукрів у процесі очищення соку та мінімальний розклад сахарози під час випарювання. Оптимальний рівень соку у кип'ятильних трубах і рівномірний розподіл нагрівної пари у парових камерах випарних апаратів захищає поверхню нагріву від пригорання цукру. Тому надалі планується детальне дослідження процесів зміни кольоровості саме у випарній установці.

1. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків [Текст] : правила усталеної практики 15.83-37-106:2007 / М. В. Ярчук, М. О. Калініченко, В. І. Чупахіна, Н. Д. Антошкіна. – Національна асоціація цукровиків України «Укрцукор», 2007. – 159 с. – Бібліогр.: с. 170–185. – ISBN 978-966-1520-00-3.

2. Славянский А. А. Технологическое оборудование сахарных заводов: классификация, техническая характеристика, расчеты, компоновка [Текст] : уч. пос. для студентов высш. уч. зав., обуч. по спец. 260203 / А. А. Славянский. – М.: Изд. компл. МГУПП, 2006. – 120 с. – Библиогр.: с. 89–96. – ISBN 5-230-12859-6.

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ З ВИТРАТОМІРОМ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

Слабик О. М., Матіко Ф. Д., Лесовой Л. В.

Національний університет «Львівська політехніка», oksana.slabyk@gmail.com

Кількість теплової енергії, яка переноситься потоком теплоносія за певний проміжок часу, за умови, що витрати теплоносія в подавальному Q_1 та зворотному трубопроводі Q_2 однакові, визначають за формулою:

$$W = \int_{t_0}^{t_k} q_w dt = \int_{t_0}^{t_k} Q_m (h_1 - h_2) dt, \quad (1)$$

де Q_m – масова витрата теплоносія, $Q_1 = Q_2 = Q_m$; h_1 – питома ентальпія теплоносія в подавальному трубопроводі; h_2 – питома ентальпія теплоносія в зворотному трубопроводі; t_0, t_k – час початку та кінця вимірювання.

Як випливає з формули (1), для точного вимірювання кількості теплової енергії, яка переноситься потоком теплоносія, необхідно визначати витрату теплоносія Q_m , ентальпію теплоносія в подавальному трубопроводі $h_1 = f(T_{\text{п}}, P_{\text{п}})$ та ентальпію теплоносія в зворотному трубопроводі $h_2 = f(T_{\text{зв}}, P_{\text{зв}})$. Отже до складу системи вимірювання кількості теплової енергії повинен входити витратомір та вимірювальні перетворювачі температури та тиску теплоносія у подавальному трубопроводі ($T_{\text{п}}, P_{\text{п}}$) та зворотному трубопроводі ($T_{\text{зв}}, P_{\text{зв}}$).

У багатьох системах обліку теплової енергії для вимірювання витрати застосовують витратоміри змінного перепаду тиску зі стандартними звужувальними пристроями (ЗП). Такі витратоміри реалізують рівняння [1]:

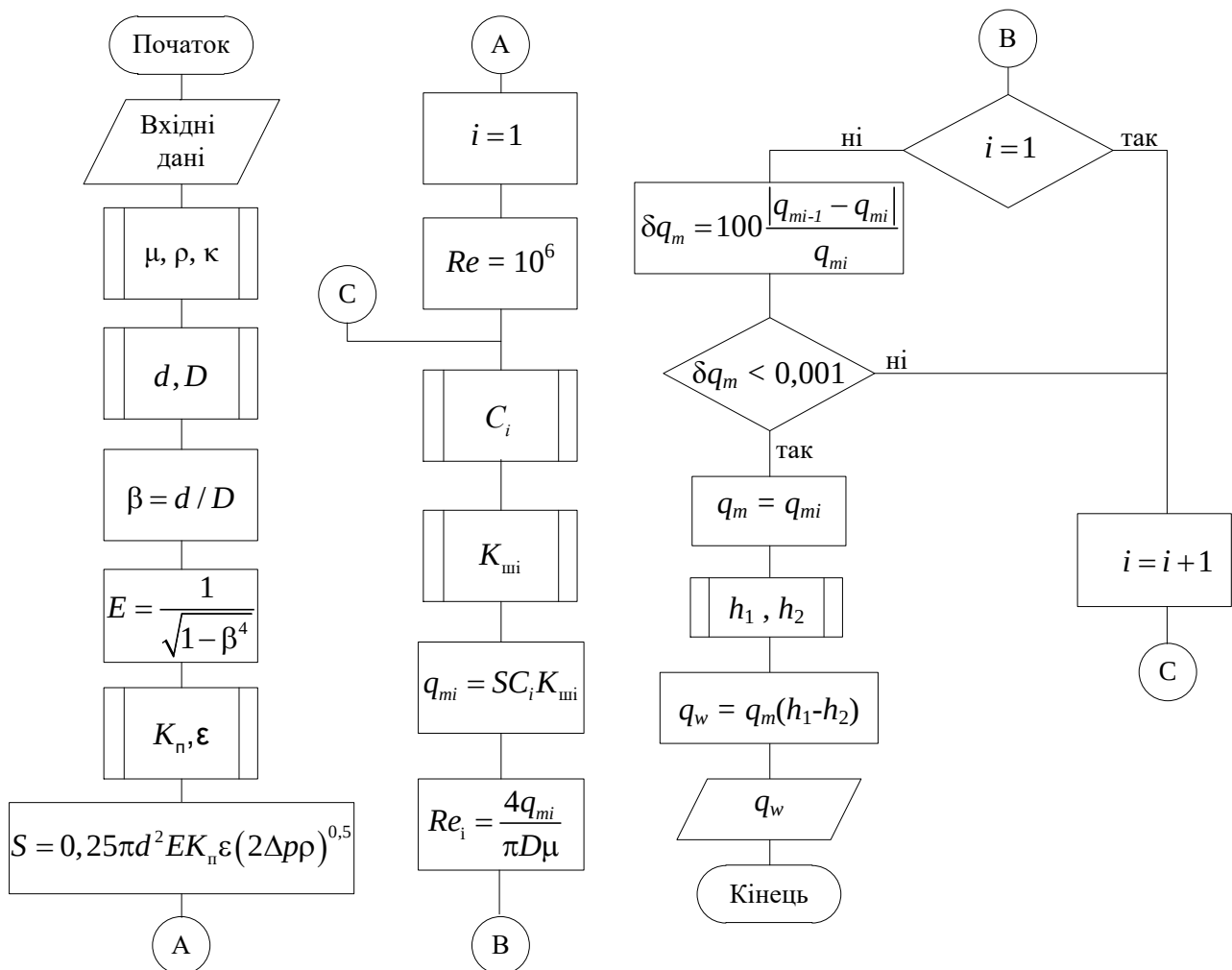
$$Q_m = 0,25\pi d_{20}^2 K_{\text{зп}}^2 C E K_{\text{ш}} K_{\text{п}} \varepsilon (2\Delta p \rho)^{0,5}, \quad (2)$$

де d_{20} – діаметр отвору ЗП за температури 20 °С; $K_{\text{зп}}$ – коефіцієнт, який враховує зміну діаметра отвору ЗП, спричинену відхиленнями температури середовища від 20 °С; C – коефіцієнт витікання; E – коефіцієнт швидкості входження; $K_{\text{ш}}$ – поправковий коефіцієнт, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні ВТ; $K_{\text{п}}$ – поправковий коефіцієнт, який враховує притуплення вхідного канта діафрагми; ε – коефіцієнт розширення; Δp – перепад тиску на ЗП; ρ – густина вимірюваного середовища.

Нами розроблено алгоритм (див. рисунок) розрахунку потоку теплової енергії q_w для системи, у якій застосовано витратомір змінного перепаду тиску. У цьому алгоритмі реалізовано повну математичну модель витратоміра, зокрема реалізовано ітераційний алгоритм розрахунку витрати теплоносія.

В тілі ітераційного процесу виконується розрахунок тих коефіцієнтів рівняння витрати (2), які залежать від витрати середовища, зокрема: коефіцієнта витікання C , поправкового коефіцієнта, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу $K_{\text{ш}}$, числа Рейнольдса Re . Розрахунок параметрів середовища: динамічної в'язкості μ , густини ρ , показника адіабати κ (тільки для газоподібного середовища) [1] та ентальпій h_1, h_2 згідно [2] доцільно виконувати

поза ітераційним процесом. Наприкінці тіла ітераційного процесу обчислюється відносне відхилення δq_m поточного значення масової витрати середовища q_{mi} від попереднього q_{mi-1} . Вихід з циклу здійснюється за умовою порівняння відносного відхилення δq_m зі значенням допустимої похибки розрахунку витрати. Результатом виконання цього алгоритму є значення потоку теплової енергії за одиницю часу q_w . Для обчислення кількості теплової енергії W , спожитої за певний інтервал часу, слід виконати інтегрування потоку теплової енергії за одиницю часу q_w .



Блок-схема алгоритму розрахунку потоку теплової енергії за одиницю часу для системи на основі стандартного звужувального пристрою

Застосування розробленого алгоритму, що реалізує повну модель витратоміра змінного перепаду тиску, дає можливість підвищити точність вимірювання кількості теплової енергії.

ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань [Текст]. – Чинний від 01.04.2010. – К.: Держстандарт України, 2010. – 198 с.

МИ 2412-97. ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя [Текст]. – Введена в действие с 01.09.1997. – М.: ВНИИМС, 1997. – 40 с.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАПІРНИМ ЯЩИКОМ З ПОВІТРЯНОЮ ПОДУШКОЮ

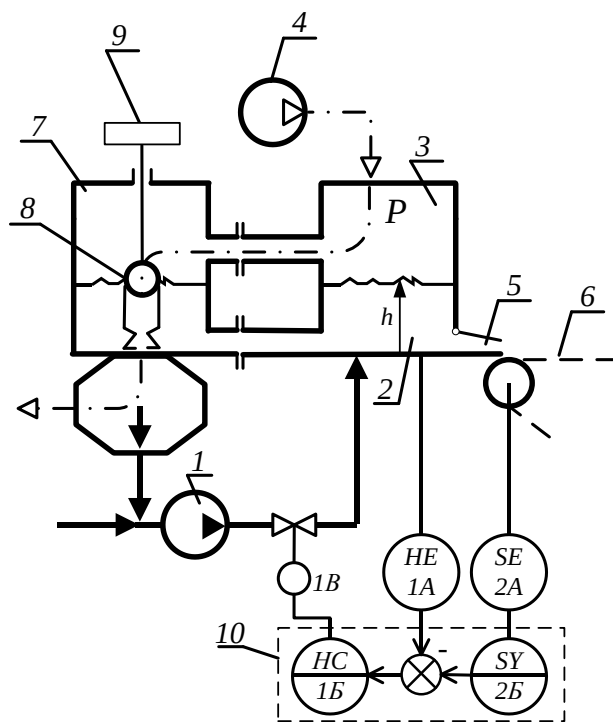
Жученко А. І., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, y.zhurakovsky@kpi.ua

На багатьох швидкохідних паперо- та картоноробних машинах, які виробляють папір чи тарний картон зі швидкістю до 750 м/хв, використовують напірні ящики з повітряною подушкою (НЯ з ПП), оснащені тільки системами автоматичного регулювання (САР) рівня маси, реалізованими на базі регуляторів Хорнбостела. Існує два варіанти побудови САР рівня маси на базі такого регулятора [1]. У першому варіанті регулятор Хорнбостела жорстко з'єднаний з напірним ящиком, у другому – його розміщено у так званому демпфері.

Властивості САР напірним ящиком цього типу, реалізованої згідно з першим варіантом, наведено у роботі [2]. Показано, що за допомогою такої системи можна регулювати тільки рівень маси у напірному ящику. При цьому його не можна встановлювати на потрібному значенні згідно з вимогами технологічного регламенту. Напір маси не регулюється, а це призводить до коливання маси 1 м^2 паперового полотна на накаті машини.

Запропоновану САР НЯ з ПП, реалізовану на базі регулятора Хорнбостела і мікропроцесорного контролера МІК-51 «МІКРОЛ», наведено на рисунку.



Система подачі маси на сітку папероробної машини:

1 – змішувальний насос; 2 – напускна камера; 3 – повітряна подушка; 4 – компресор; 5 – випускальна щілина; 6 – сітка; 7 – демпфер; 8 – переливна труба; 9 – маховичок; 10 – мікропроцесорний контролер

Маса змішувальним насосом 1 подається до напускної камери 2, з якої 90 % маси крізь випускальну щілину 5 подається на сітку 6, а приблизно 10 % –

до демпфера 7. Якщо через порушення усталеного режиму подачі маси чи повітря у цей об'єкт керування зміниться рівень маси h , то гранична поверхня поділу маси й повітря у демпфері зміститься відносно осі вхідного отвору переливної труби 8. Так, у разі збільшення рівня у демпфері, зменшиться її площа поперечного перерізу для виходу повітря із повітряної подушки (ПП), що призведе до збільшення тиску P у ній. Збільшення тиску в ПП зумовить зниження рівня маси у демпфері, а отже, і збільшення площі переливної труби. В такому разі збільшиться витрата повітря, яке виходить із ПП, і саме тому зменшиться тиск повітря на поверхню маси у напускній камері. Внаслідок цього змішувальний насос подасть дещо більше маси у напірний ящик, і тому рівень маси у напускній камері почне збільшуватися. За допомогою маховичка 9 можна підіймати й опускати переливну трубу і тим самим змінювати площу її поперечного перерізу, а отже і тиск ПП.

Аналіз роботи САР рівня маси свідчить, що з її допомогою регулюється тільки рівень маси, та й то шляхом зміни тиску ПП, а отже і напору маси у випускальній щілині. У запропонованій САР напором маси напір останньої вимірюється датчиком напору маси $1A$, вихідний сигнал з якого подається в елемент порівняння поточного значення з його заданим значенням, яке формується на підставі вимірюного поточного значення швидкості сітки 6, вимірюваної тахометром $2A$. Сигнал розузгодження подається на дискретний регулятор напору маси $1B$, реалізований у мікропроцесорному контролері 10 , який своїм регульовальним впливом за допомогою виконавчого пристрою $1B$ змінює подачу маси, що надходить до напірного ящика.

1. Жученко А. І. Автоматичне керування напірними ящиками паперо- і картоноробних машин [Текст]: монографія / А. І. Жученко, М. С. Піргач, М. З. Кваско. – К.: Бізнес Медіа Консалтинг, 2014. – 232 с. Бібліогр.: с. 215–229. – 200 пр. – ISBN 978-966-2425-34-5.

2. Жученко А. І. Дослідження системи автоматичного керування напірним ящиком з повітряною подушкою, реалізованою на базі регулятора Хорнбостела [Текст] // А. І. Жученко, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський. – Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2018. – № 1 (2018), – С. 113–117. : іл. – Бібліогр.: с. 117. – ISSN 2306-1626.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ПИЛУ ТА ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК

Бокій А. Ю., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Tyoma.Bokiy@gmail.com

Очищення газів і повітря під дією електричних сил – один з найбільш досконалих методів вловлювання пилу. Апарати для такого очищення газів називаються електричними фільтрами. Електричне очищення газів від зважених частинок – таких як пил, туман або дим – основане на принципі іонізації газових молекул електричним розрядом. При цьому відбувається зарядження частинок, які містяться в газі, а потім під дією електричного поля ці частинки осаджуються на електродах і видаляються з газу. Для створення електричного поля, здатного ініціювати коронний розряд між електродами, останні мають бути приєднані до джерела електричного постійного струму високої напруги [1]. Критична напруженість E_0 визначається за формулою

$$E_0 = 31\delta\left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta r}}\right),$$

де δ – атмосферний тиск; r – довжина електрода.

В середовищі повітря за тиску, близького до атмосферного, для коронного розряду, для виникнення якого на коронувальний електрод подається від'ємна напруга, можна прийняти

$$\delta = \frac{3,92B}{273+t},$$

де B – барометричний тиск; t – температура повітря.

Фізична сутність роботи зазначеного електрофільтра полягає в тому, що осаджувальний електрод виконано у вигляді нескінченної смуги, що неперервно обертається. Тверді частинки технологічних газів проходять через коронуючі електроди, де отримують електричний заряд і за законом електростатики осаджуються в верхній частині осаджувального електрода. Відповідно до законів електрогазодинаміки, ефективність виловлення й осадження частинок найбільше залежить від сили Кулона $F_{\text{кл}}$, аеродинамічної сили $F_{\text{гид}}$, сили тяжіння $F_{\text{т}}$, сили індукції $F_{\text{і}}$, сили опору F_0 та електропровідності вологого повітря $F_{\text{ел}}$.

Розробка математичної моделі з урахуванням температури в електрофільтрі не забезпечує достатньої кількості осадження на електродах, тому потрібно розробити математичну модель зміни ЕРС між електродами.

Електрофільтри мають ряд переваг: висока ступінь очищення газів – до 99 % і вище при вловлюванні частинок будь-яких розмірів; низький газодинамічний опір (100...150 Па); можливість роботи в агресивних середовищах; можливість очищення високотемпературних газів; застосування повної автоматизації (регулювання напруги, видалення уловлених частинок з електродів і вивантаження пилу в електрофільтрах можуть бути повністю механізовані й автоматизовані); широкий діапазон застосування; можливість очищення як від твердих, так і від рідких включень [2].

Однак є й певні недоліки: великі витрати коштів на спорудження та утримування очисних установок, які зростають зі зменшенням їх одиничної продуктивності, і значна витрата енергії на створення електричного поля. Витрата електроенергії на електростатичне очищення становить 0,1...0,5 кВт·год на 1000 м³ очищуваного газу.

Розробка та впровадження інновацій з високим ступенем екологічності та економічної ефективності є передумовою виходу з еколого-економічної кризи, тому важливим стає питання пошуку новітніх природоохоронних технологій. Апарати електростатичного очищення газів (електрофільтри) отримали широке застосування в промисловості завдяки своїй універсальності та високому ступеню очищення за порівняно низьких енерговитратах.

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. Технології» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с.230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

2. Кутепов А. М. Общая химическая технология: учеб. для техн. вузов [Текст] / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – 2-е изд. – М.: Высш.шк., 1990. – 520 с. – Библиогр.: с.517–518. – ISBN 5-06-000493-7.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИПАРНИКА ЕТИЛЕНУ В ПРОЦЕСІ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ІЗОБУТИЛЕНУ

Волошин О. С., Ярощук Л. Д.
КПІ ім. Ігоря Сікорського. civ047@ukr.net

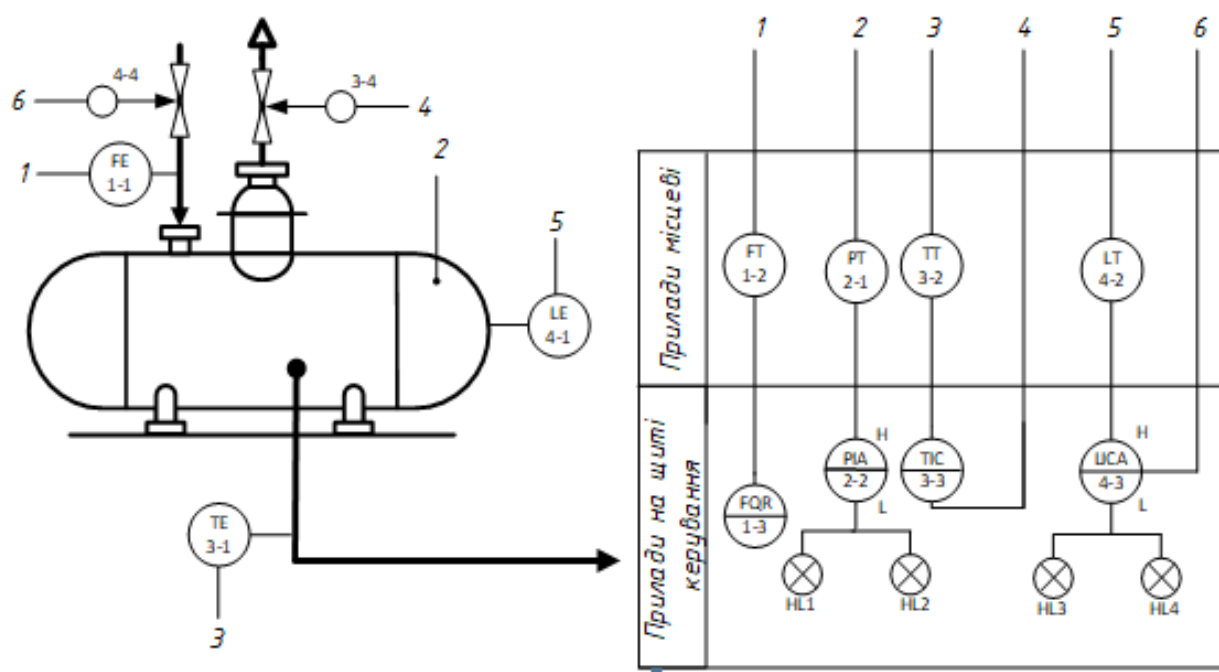
Поліізобутилен застосовують для внутрішнього та зовнішнього захисту апаратури від корозії, у виробництві клеїв, захисного одягу, герметиків, липких стрічок. Процес його виготовлення характеризується значною екзотермічністю та – у разі контакту з каталізатором – вибухонебезпечністю, тому промислове виробництво потребує охолоджених розчинників. Одним із них є рідкий етилен за температури мінус 104 °С.

Рідкий етилен ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) не вступає хімічну реакцію з жодною речовиною цього виробництва, а створює необхідні для полімеризації умови, завдяки чому цей процес відбувається швидко та безпечно [1].

Мета дослідження – розробка системи автоматизації випарника етилену, який є одним з ключових апаратів у технологічній системі полімеризації ізобутилену.

Треба вказати на суттєву зв'язаність режимних параметрів випарника, тому зміна одного з них спричинює певну зміну інших [2]. Так, рівень та тиск взаємопов'язані один з одним: за рахунок зміни тиску змінюється температура в апараті; витрата газоподібного етилену впливає на тиск (а отже і на температуру та рівень).

Запропоновану схему автоматизації апарата зображено на рисунку.



Фрагмент схеми автоматизації випарника етилену

Запропонована схема автоматизації апарата складається з таких контурів:

– контур 1 вимірює витрату та підраховує кількість сировини;

– контур 2 забезпечує контроль тиску усередині випарника, має бути оснащений технологічною сигналізацією;

– контур 3 регулює вихідну температуру рідкого етилену зміною внутрішнього тиску в апараті, яка здійснюється шляхом зміни витрати газоподібного етилену;

– контур 5 обладнаний технологічною сигналізацією та забезпечує контроль і регулювання рівня зміною витрати на вході в апарат.

Регулювання температури запропоновано здійснювати шляхом відведення залишкового газоподібного етилену. За допомогою термопари (3-1) отримуємо значення температури, які передаємо на прилад, що контролює температуру (3-3), оснащений вбудованим регулятором, який діє на виконавчий механізм (3-4), регулювального органа, змінюючи подачу випареного етилену, що впливає на температуру етилену на виході.

Регулювання рівня здійснюється за рахунок зміни вхідного потоку рідкого етилену. Детектор рівня (4-1) показує, наскільки апарат заповнений рідиною, та передає сигнал на блок обробки інформації (4-2). Звідти він надходить на вторинний прилад (4-3) з вбудованими пристроєм сигналізації та регулятором, що регулює подачу рідкого етилену в апарат.

Висновок. Розроблена схема забезпечує ефективне регулювання режимних параметрів, таких як температура етилену та рівень у випарнику, забезпечуючи раціональне використання цього апарату. Однак, у зв'язку з особливостями апарата, такими як суттєвий взаємовплив каналів керування, подальші зусилля треба зосередити на дослідженні доцільності застосування спеціальних компенсувальних пристроїв для нівелювання цих впливів. Дослідження полягатимуть у теоретичному визначенні динамічних характеристик таких пристроїв, проведенні експериментів на імітаційних моделях та подальшій статистичній обробці отриманої інформації.

1. Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза [Текст] / И. И. Юкельсон. – М.: Химия, 1968 г. – с. 848. – Библиогр.: с. 96–98. – 16000 экз.

2. Олійник С. В. Комбінована система регулювання випарника етилбензолу у виробництві стиролу [Текст] / С. В. Олійник, З. Я. Козаневич // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Перша Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених, студентів та аспірантів (АКІТ-2015): Матеріали конференції; Київ, 15–16 квітня 2015 р. – К.: НТУУ “КПІ”, 2015. – 130 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 11–12. – 100 пр.

АРХІТЕКТУРА СУЧАСНОГО ВЕБ-ДОДАТКА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Семків Р. Ю.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, romanyuriyovych@gmail.com

Вимоги до сучасних веб-додатків зростають з кожним днем. Постійно збільшується кількість необхідних функцій, середня кількість користувачів, які користуються різними платформами. Це породжує потребу в продуктивних, масштабованих, мультиплатформенних рішеннях. Зараз для досягнення цих властивостей є використання *API* та формату *JSON*. Всі повідомлення, що приходять із сервера, а також ті, що надсилаються на сервер, мають передаватись у форматі *JSON*, оскільки за замовчуванням цей формат підтримують майже всі мови програмування, бібліотеки контролерів.

API (*Application Programming Interface*, прикладний програмний інтерфейс) – набір визначень взаємодії різнотипного програмного забезпечення, зазвичай (але не обов'язково) використовується як метод абстракції між низькорівневим та високорівневим програмним забезпеченням.

Зараз найпопулярнішою архітектурою для написання *API* є *REST* (*Representational State Transfer*, передача репрезентативного стану) – підхід до архітектури мережових протоколів, які забезпечують доступ до інформаційних ресурсів. Був описаний і популяризований 2000 року Роем Філдіном, одним із творців протоколу *HTTP*. В основі *REST* закладено принципи функціонування Всесвітньої павутини, зокрема, *HTTP*. Філдінг розробив *REST* паралельно з *HTTP1.1*, базуючись на попередньому протоколі *HTTP1.0* [1].

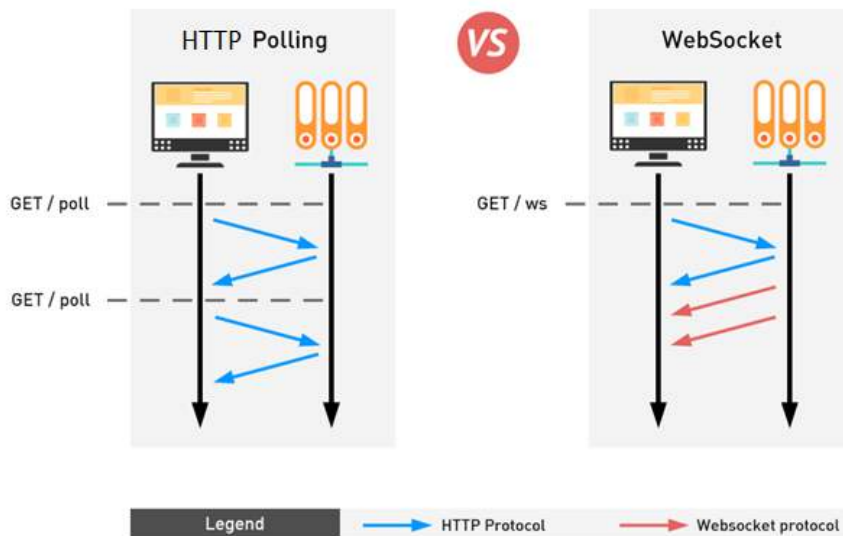
Дані мають передаватися у вигляді невеликої кількості стандартних форматів (наприклад *HTML*, *XML*, *JSON*). Будь-який *REST*-протокол (у тому числі *HTTP*) має підтримувати кешування, не залежати від мережового прошарку і не передбачає зберігання інформації про стан між парами «запит-відповідь». Стверджується, що такий підхід забезпечує масштабовність системи та дозволяє їй еволюціонувати з новими вимогами.

У зазначеної архітектури є один великий мінус – потреба описувати всі адреси (шляхи) для отримання ресурсів, і коли щось не передбачено, тоді потрібно редагувати сам *API*. У великих комерційних додатках таких шляхів може бути дуже багато, що призводить до незручностей у процесі розробки та підтримки функціонування додатка.

Для ліквідації недоліків *REST* будемо використовувати протокол *WebSocket* та бібліотеку *socket.io* [2]. *WebSocket* – це протокол, призначений для обміну інформацією між браузером та веб-сервером у режимі реального часу. Він забезпечує двонаправлений повнодуплексний канал зв'язку через один *TCP-socket*. *WebSocket* спроектовано для впровадження у веб-браузери та веб-сервери, але може також використовуватись будь-яким клієнт-серверним додатком [3].

Можна було обійтись тільки протоколом, але тоді зникає така важлива риса нашого додатка як кросбраузерність так як старі версії браузерів не підтримують протокол *WebSocket*, виправити це нам допомагає саме *socket.io*. Якщо

переглядач не підтримує *WebSocket* то бібліотека сама обирає найкращий з можливих методів зв'язку реального часу (*WebSocket*, *Adobe Flash Socket*, *AJAX long polling*, *AJAX multipart streaming*, *Forever Iframe*, *JSONP Polling*). Також бібліотека доповнює протокол такими функціями як мультиплексування, горизонтальне масштабування, атоматичне кодування *JSON*. Різницю в алгоритмах роботи *REST* та протоколу *WebSocket* показано на рисунку.



Різниця в роботі *REST* та протоколу *WebSocket*

Такий підхід дозволить побудувати масштабований додаток, який буде легко підтримувати та який буде завжди використовувати основні переваги нових технологій.

Прикладом для використання такого додатка може бути проведення лабораторних робіт, де викладач бачить у реальному часі роботу студента у себе в браузері та вносить потрібні корективи.

1. REST [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/REST>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.
2. Socket.IO [Electronic resource] / Mode of access: [WWW.URL: https://socket.io/](https://socket.io/), free. – Title from the screen. – English language.
3. WebSocket [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/WebSocket>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННИКА У ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ *COMSOL MULTIPHYSICS*

Ковалюк Д. О., Гордієв А. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, gordiev777@gmail.com

Інноваційні комп'ютерні технології призначені полегшити роботу інженерів з автоматизації. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення створюються нові винаходи та покращуються вже наявні. Одним з таких програмних рішень є *Comsol Multiphysics*.

Це універсальне програмне забезпечення для моделювання конструкцій, пристроїв і процесів у всіх областях проектування, виробництва і наукових досліджень. Таке моделювання необхідне для більшого розуміння процесу та налаштування оптимального керування.

Віртуальні тести значно швидші та дешевші за фізичні прототипи, що значно спрощує розробку нових рішень. Віртуальне моделювання – це досконалий спосіб передачі досвіду та навчання нового персоналу.

Comsol Multiphysics може використовуватись у різноманітних галузях – від хімічної промисловості до космічного будівництва. Головною перевагою цієї програми є саме мультифізика, яка дозволяє поєднувати декілька різних задач між собою у одне середовище. Наприклад, моделювати у об'єкта одночасно і закони гідродинаміки, і термодинаміки, а також ускладнювати модель властивостями деформації та корозії.

На рис. 1 зображено задачі, які може розв'язувати *Comsol Multiphysics*.



Рис. 1. Модулі програми *Comsol Multiphysics* 5.4

Особливістю цієї програми є її синхронізація з такими відомими засобами як *AutoCAD*, *MATLab*, *MS Excel* та іншими, що значно спрощує розробку, подальший аналіз та використання моделі. Завдяки цій функції можна швидко отримати математичну модель об'єкта та налаштувати у *MATLab* систему керування. Також у *Comsol Multiphysics* вбудовано понад 2500 різноманітних матеріалів, яким надано всі необхідні фізичні властивості. Навіть якщо необхідно-

го матеріалу немає, програма надає можливості створення власного матеріалу та надання йому всіх необхідних властивостей.

Розглянемо застосування *Comsol Multiphysics* на прикладі виробництва сажі. На одному з етапів технологічного процесу сировину нагрівають до температури в 300 °С за допомогою трубчатого теплообмінника. Використовується модель теплообмінника з оболонкою та трубою, що є типовим для нафтопереробних заводів та інших великих хімічних виробництв*.

Дві відокремлені рідини за різних температур протікають через теплообмінник: одна через трубки, а інша через оболонку навколо трубок. Маючи можливість змінювати конструктивні параметри й умови експлуатації, можемо побачити, як вони впливають на оптимальну продуктивність теплообмінника (рис. 2). Ця модель теплообмінника є базовою та може слугувати відправною точкою для більш складних моделей, які включають дослідження інших параметрів або додаткових ефектів, таких як корозія, термічні напружки та вібрації.

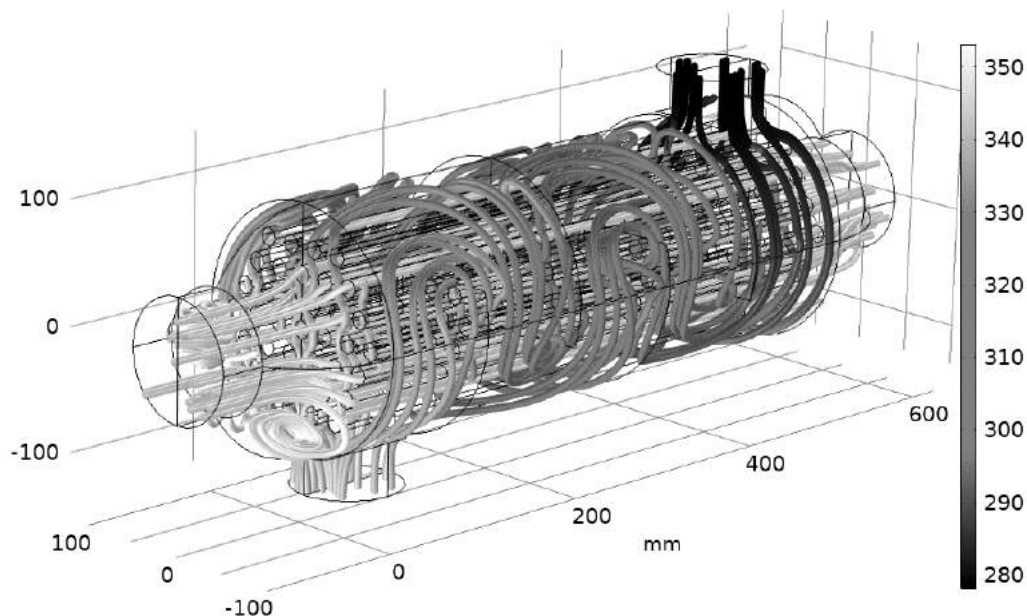


Рис. 2. Швидкість потоку в теплообміннику

Створивши геометричну модель і задаючи параметри технологічного процесу, отримуємо значення вихідних змінних, що дозволяє в подальшому виконати ідентифікацію та одержати модель в аналітичному вигляді.

Отже, таке сучасне програмне забезпечення, яким є *Comsol Multiphysics*, виводить автоматизацію об'єкта на новий рівень, адже дозволяє змодельовати усі режими керування та бути впевненими у надійності системи.

* Numerical Simulation of Heat Exchangers: Advances in Numerical Heat Transfer Volume 5 [Text] / W. J. Minkowycz, E. M. Sparrow, J.P Abraham, J. M. Gorman – 2017. – P. 230. – ISBN-10: 1482250195.

ЗАКОНИ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ПОДАЧІ МАСИ НА СІТКУ ПАПЕРОРОБНОЇ МАШИНИ

Жученко А. І., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, y.zhurakovsky@kpi.ua

Папероробна машина відіграє ключову роль у виробництві паперу і є багатопараметричним об'єктом. Якісні системи керування усіма частинами машини можуть покращити якість паперу, зменшити його вартість, збільшити продуктивність, безпечність і екологічність виробництва.

Відомо, що якість паперу чи картону, що виробляються на папероробній машині із повітряною подушкою, великою мірою залежить від дотримання технологічних вимог до швидкості витікання паперової маси на сітку та до створення відповідного напору маси в напускній камері. При цьому швидкість руху сітки папероробної машини стабілізується окремою підсистемою керування.

Систему подачі маси на сітку папероробної машини показано на рис. 1.

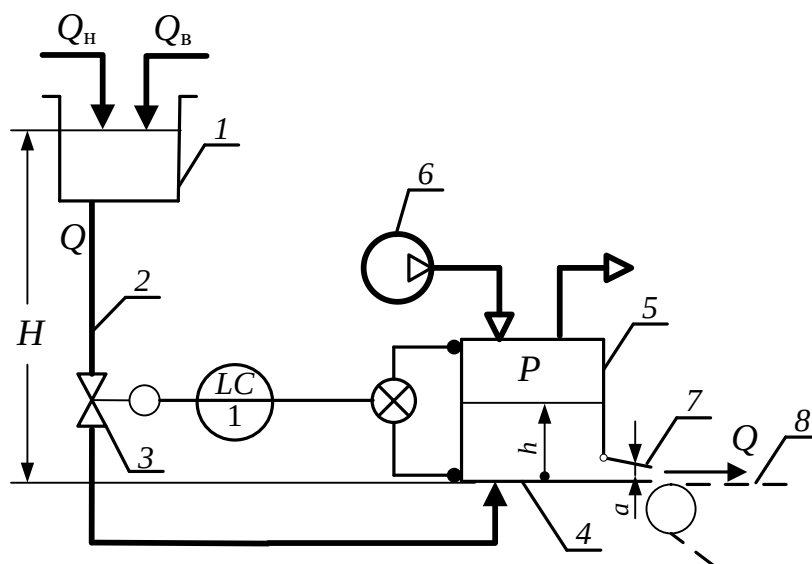


Рис. 1. Система подачі маси на сітку папероробної машини: 1 – змішувач; 2 – трубопровід розбавленої маси; 3 – регулювальний орган; 4 – напускна камера; 5 – повітряна подушка; 6 – компресор (вакуум-насос); 7 – випускальна щілина; 8 – сітка

Маса високої концентрації Q_H і обігова вода Q_B подаються до змішувача 1 з площею поверхні маси S_2 , встановленою на висоті H . Маса низької концентрації Q_H по трубопроводу 2 через регулювальний орган 3 надходить до напускної камери 4 (площа поверхні маси S_1), у якій регулюється рівень маси h системою регулювання рівня LC . Потрібний тиск P (чи вакуум) повітряної подушки 5 створюється компресором (чи вакуум-насосом) 6. Рівень маси та тиск подушки створюють напір маси $h + P/\rho$ (тут ρ – питома вага маси), яка крізь випускальну щілину 7 площею S витікає на сітку 8.

Ставиться питання: якими мають бути закони керування розглядуваною системою подачі маси на сітку машини, що пов'язують витрату маси Q з тис-

ком (вакуумом) повітряної подушки та площею щілини, щоб швидкість витікання маси v крізь щілину дорівнювала її заданому значенню v_0 , а рівень маси – його заданому значенню h^0 ? Відповідь на це питання можна знайти із використанням моделі [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dH}{dt} = \frac{1}{S_2} \left[Q - \sqrt{\frac{1}{k_1} \left(H - \left(h + \frac{P}{\rho} \right) \right)} \right]; \\ \frac{dh}{dt} = \frac{1}{S_1} \left[\sqrt{\frac{1}{k_1} \left(H - \left(h + \frac{P}{\rho} \right) \right)} - \sqrt{\frac{h + \frac{P}{\rho}}{k_2 + \frac{1}{2} S^2 g}} \right]; \\ v = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{h + \frac{P}{\rho}}{k_2 + \frac{1}{2} S^2 g}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

При цьому

$$h = h^0 \Rightarrow \frac{dh}{dt} = 0 \forall t; v = v_0 \forall t,$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти гідравлічних втрат на регулювальному органі 3 і щілині 7. Розв’язок системи рівнянь (1) має вигляд

$$S^2 = \frac{1}{k_1 + k_2} \left(\frac{H}{v_0^2} - \frac{1}{2g} \right), \quad (2)$$

$$h^0 + \frac{P}{\rho} = \frac{1}{k_1 + k_2} \left(k_1 \frac{1}{2g} v_0^2 + k_2 H \right). \quad (3)$$

Закони керування (2) і (3) легко реалізувати, якщо можна вимірювати висоту H . Якщо її неможливо виміряти за допомогою відповідних засобів автоматизації, то можна визначити на підставі виміряного значення витрати маси $Q(t)$ і розв’язання диференціального рівняння

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{S_2} \left[Q(t) - \frac{1}{k_1 + k_2} \left(H - \frac{v_0^2}{2g} \right) \right]. \quad (4)$$

Досліджувалась система подачі маси на сітку машини, яка має такі характеристики [2]: швидкість машини $v = 40$ м/хв; витрата маси крізь щілину $Q = 15$ м³/год; висота випускальної щілини $a = 1,5$ см; рівень маси у напускній камері $h = 17$ см; вакуум у повітряній подушці $P = 14$ мБар; коефіцієнти гідравлічних втрат $k_1 = 11610$ с²/м⁵, $k_2 = 0$.

У разі зміни витрати маси крізь щілину на 5 м³/год вихідні змінні системи подачі маси на сітку змінювались так, як показано на рис. 2.

Як видно з графіків 2 та 3, при використанні регулятора рівень маси у напірному ящику змінюється суттєво менше, ніж без регулятора.

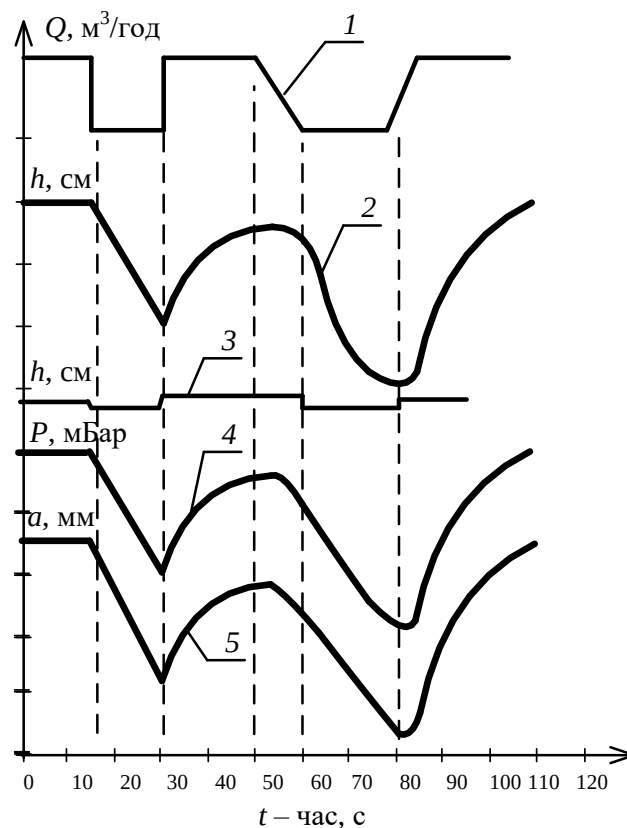


Рис. 2. Графіки перехідних процесів у системі подачі маси на сітку машини:
1 – витрата маси; 2 – рівень маси з вимкненим регулятором рівня; 3 – рівень маси з увімкненим регулятором; 4 – тиск повітряної подушки; 5 – висота випускальної щілини

Отримані результати планується використовувати у процесі побудові імітаційної моделі технологічного процесу.

1. Жученко А. І. Автоматичне керування напірними ящиками паперо- і картоноробних машин [Текст]: монографія / А. І. Жученко, М. С. Піргач, М. З. Кваско. – К.: Бізнес Медіа Консалтинг, 2014. – 232 с. Бібліогр.: с. 215–229. – 200 пр. – ISBN 978-966-2425-34-5.

2. Commande par calculateur numerique d'une unite pilot de fabrication de papior [Text]: These de Docteur-ingenieur / B. Lebeau. – Grenoble, 1971. – p. 253.

РОЗРОБКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ ВИПАРНОГО АПАРАТА

Шапошник А. А., Коротинський А. П.

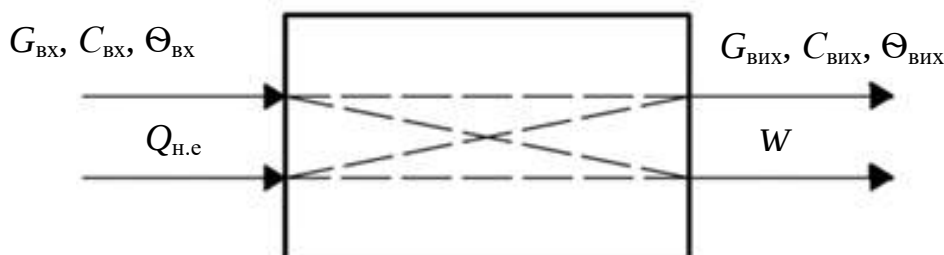
КПІ ім. Ігоря Сікорського, shaposhnik.vip.1999@gmail.com

Аміачна селітра використовується в багатьох галузях, зокрема в сільсько-господарській, хімічній і под., тому розробка ефективної системи керування процесом її виробництва є важливою науково-технічною задачею.

У процесі отримання лускатної аміачної селітри використовують висококонцентрований плав аміаку, який надходить із напірного баку до випарного апарата для отримання паро-рідинної емульсії, яка в подальшому потрапляє до охолоджувального барабана, на поверхні якого вона кристалізується.

Оскільки для отримання продукції відповідної якості необхідно дотримуватись жорстких технологічних обмежень процесу виробництва аміачної селітри, одним з яких є концентрація вихідної речовини, зміна якої відбувається у процесі випарюванні, то за об'єкт для розробки систем керування було обрано випарний апарат.

Процесу розробки системи керування передуює моделювання технологічного об'єкта*. Розглянемо вхідні, вихідні потоки випарного апарата та його збурення на структурно-параметричній схемі, зображений на рисунку.



Структурно-параметрична схема випарного апарата:

$G_{BX}, C_{BX}, \Theta_{BX}$ – витрата, теплоємність і температура розчину відповідно;
 $G_{ВИХ}, C_{ВИХ}, \Theta_{ВИХ}$ – витрата, теплоємність і температура на виході відповідно;
 W – витрата пари; $Q_{н.е}$ – теплота нагрівального елемента

Основним регульованим параметром, який забезпечує задану якість процесу, є концентрація вихідної речовини.

Керувальним впливом у досліджуваному процесі є кількість теплоти нагрівального елемента.

В результаті виконаної роботи розроблено структурно-параметричну схему, яка в майбутньому буде використана для подальшого моделювання розглянутого технологічного об'єкта.

* Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами [Текст] : навч. посіб. для студ. хіміко-технол. спец. / В. Я. Кожухар, В. В. Брем, Ю. Ф. Каверін, Ю. К. Тодорцев. – Одеса: Екологія, 2005. – 224 с. – Бібліогр.: с. 221. – 300 пр. – ISBN 966-8740-06-8.

ПРОГРАМНИЙ ПАКЕТ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГІДРОЛІЗНОГО АПАРАТА У ВИРОБНИЦТВІ ЕТАНОЛУ

Людін М. С., Ковалевський В. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, maksymliulin@gmail.com

У сучасних системах керування широко використовуються мікропроцесорні регулятори та контролери. Для вивчення роботи цих регуляторів потрібен об'єкт керування. В наш час спостерігається великий розвиток комп'ютерно-інформаційних технологій. Для розв'язання задач в системах керування було створено прикладну програму для імітаційного моделювання контуру регулювання режимних параметрів гідролізного апарату. За об'єкта керування обрано хіміко-технологічний процес гідролізного апарату зі схеми виробництва етанолу [1].

Мета розробки програмного пакету полягає у вивченні та дослідженні роботи мікропроцесорного регулятора МІК-21 МІКРОЛ на основі імітаційного моделювання. Для цього була розроблена прикладна C# програма, яка дозволяє користувачу введення значень параметрів технологічного процесу на основній формі вікна (рис. 1).

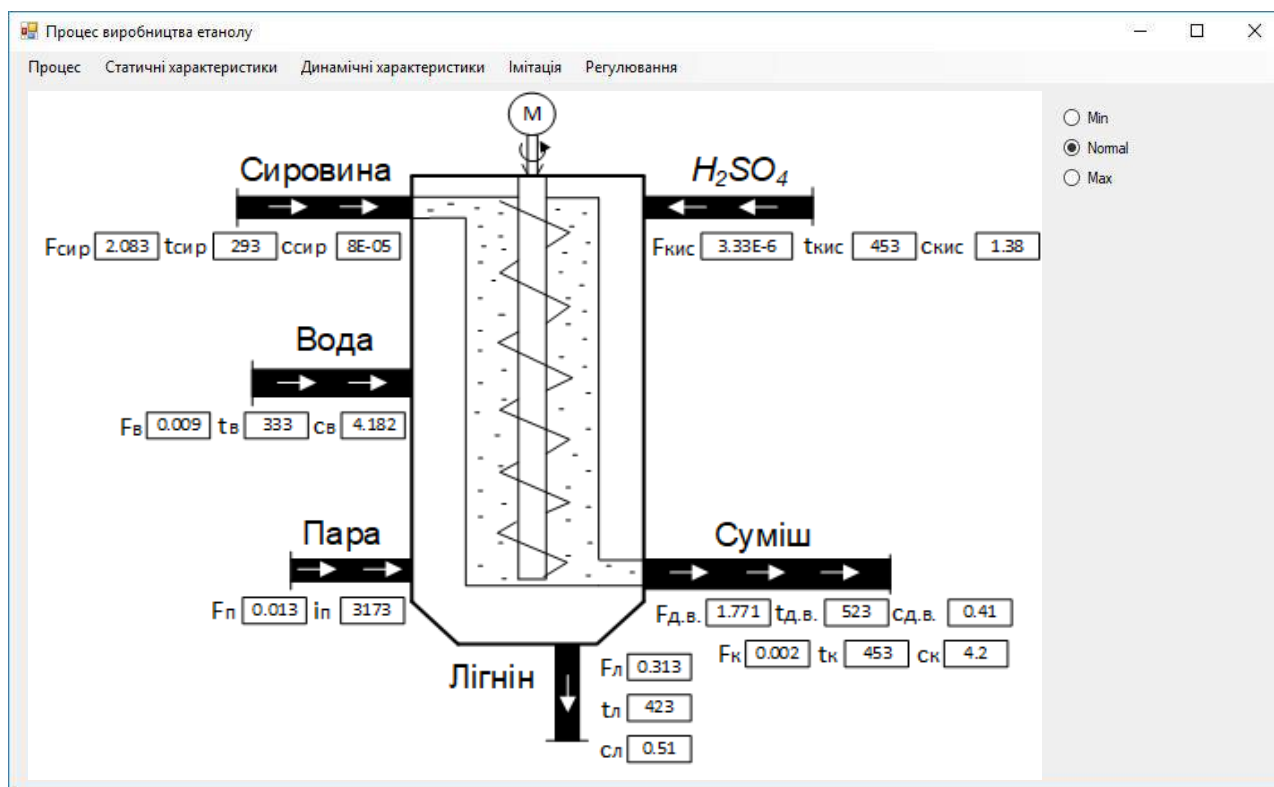


Рис. 1. Основна форма прикладної C# програми:

Min, Max, Normal – режим мінімального, максимального та стандартного навантаження відповідно; $F_{\text{сир}}$, $t_{\text{сир}}$, $c_{\text{сир}}$ – витрата, температура та теплоємність сировини відповідно; $F_{\text{в}}$, $t_{\text{в}}$, $c_{\text{в}}$ – витрата, температура та теплоємність води відповідно; $F_{\text{п}}$, $i_{\text{п}}$ – витрата та інтальпія пари відповідно; $F_{\text{кис}}$, $t_{\text{кис}}$, $c_{\text{кис}}$ – витрата, температура та теплоємність сірчаної кислоти відповідно; $F_{\text{л}}$, $t_{\text{л}}$, $c_{\text{л}}$ – витрата, температура та теплоємність лігніну відповідно; $F_{\text{д.в.}}$, $t_{\text{д.в.}}$, $c_{\text{д.в.}}$ – витрата, температура та теплоємність деревини в суміші відповідно; $F_{\text{к}}$, $t_{\text{к}}$, $c_{\text{к}}$ – витрата, температура та теплоємність конденсату відповідно

Перед початком розрахунку характеристик користувачу потрібно визначити режим роботи гідролізного апарату: мінімальне (Min) навантаження по сировині, стандартне (Normal), максимальне (Max) навантаження.

При виборі в меню програми пункту “Статичні характеристики” відкривається додаткова форма, зображення якої наведено на рис. 2, з прикладом побудови статичних характеристик. Також на формі знаходяться кнопки перемикання для вибору і розрахунків характеристик інших каналів впливу на технологічний процес гідролізного апарату.



Рис. 2. Додаткова форма прикладної C# програми для перегляду статичних характеристик

На основі аналізу технологічного процесу [2] розроблено програмний пакет, який передбачає імітаційне моделювання статичного та динамічного режимів роботи гідролізного апарату із підключенням до контуру регулювання реального мікропроцесорного регулятора МІК-21 МІКРОЛ. Вивчення роботи регулятора передбачається проводити за рахунок спостереження у реальному часі за змінами значень вихідного сигналу регулятора на збурення та зміну завдання.

1. Соколов Р. С. Химическая технология [Текст]: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений: В 2 т. – Т. 2: Металлургические процессы. Переработка химического топлива. Производство органических веществ и полимерных материалов / Р. С. Соколов – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 277 с. : ил. – Библиогр.: с. 270–275. – 5000 экз. – ISBN 5-691-00356-9.

2. Люлін М. С. Аналіз роботи гідролізного апарату у виробництві етанолу шляхом гідролізу залишків деревини [Текст] / М. С. Люлін, В. М. Ковалевський // Тези доповідей Дванадцятій науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. – 90 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ASIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ASIT-2018(winter).pdf) – вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

ПРИКЛАДНА ПРОГРАМА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРА У ВИРОБНИЦТВІ МЕТАНОЛУ

Ластовина В. В., Ковалевський В. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Lastovuna@gmail.com

На основі аналізу властивостей реактора киплячого шару у виробництві метанолу в трифазній системі [1] для візуального спостереження за параметрами процесу розроблено прикладну C# програму, яка функціонує на основі імітаційного моделювання відповідно до заданих користувачем значень параметрів, відповідно до технологічної схеми процесу [2]. В імітаційній програмі розглядається стадія взаємодії реактора киплячого шару та котла-утилізатора, зображених на формі програми (рис.1).

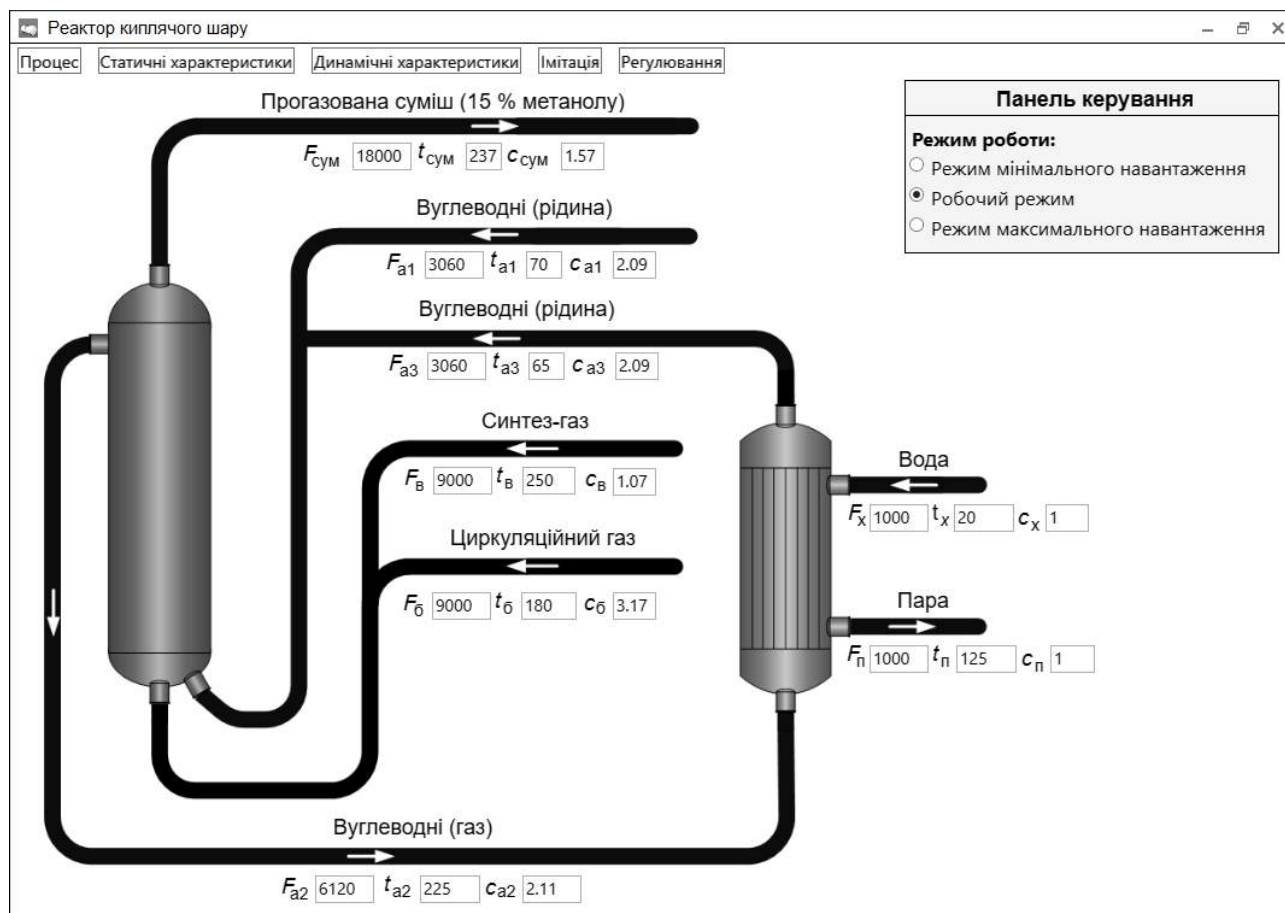


Рис. 1. Зображення основного вікна програми при переході на вкладку меню «Процес»: 1 – реактор киплячого шару; 2 – котел-утилізатор; $F_{\text{сум}}$, $t_{\text{сум}}$, $c_{\text{сум}}$ – витрата, температура та теплоємність суміші відповідно; F_{a1} , t_{a1} , c_{a1} – витрата, температура та теплоємність потоку вуглеводнів відповідно (рідина); F_{a2} , t_{a2} , c_{a2} – витрата, температура та теплоємність потоку вуглеводнів (газ); F_{a3} , t_{a3} , c_{a3} – витрата, температура та теплоємність потоку вуглеводнів (рідина); F_6 , t_6 , c_6 – витрата, температура та теплоємність потоку циркуляційного газу; F_b , t_b , c_b – витрата, температура та теплоємність потоку синтез-газу; F_x , t_x , c_x – витрата, температура та теплоємність потоку холодної води; F_n , t_n , c_n – витрата, температура та теплоємність потоку пари

Вибір пункту меню «Процес» відкриває основну форму (рис. 1), на якій можна обрати бажаний режим навантаження для об'єкта керування, а саме: «Режим мінімального навантаження», «Робочий режим» або «Режим максимального навантаження».

Для імітаційного моделювання розроблено алгоритми та програмні модулі відповідно до роботи [1], які забезпечують можливість розрахунків і побудови статичних характеристик для каналів регулювання та збурення (рис. 2).

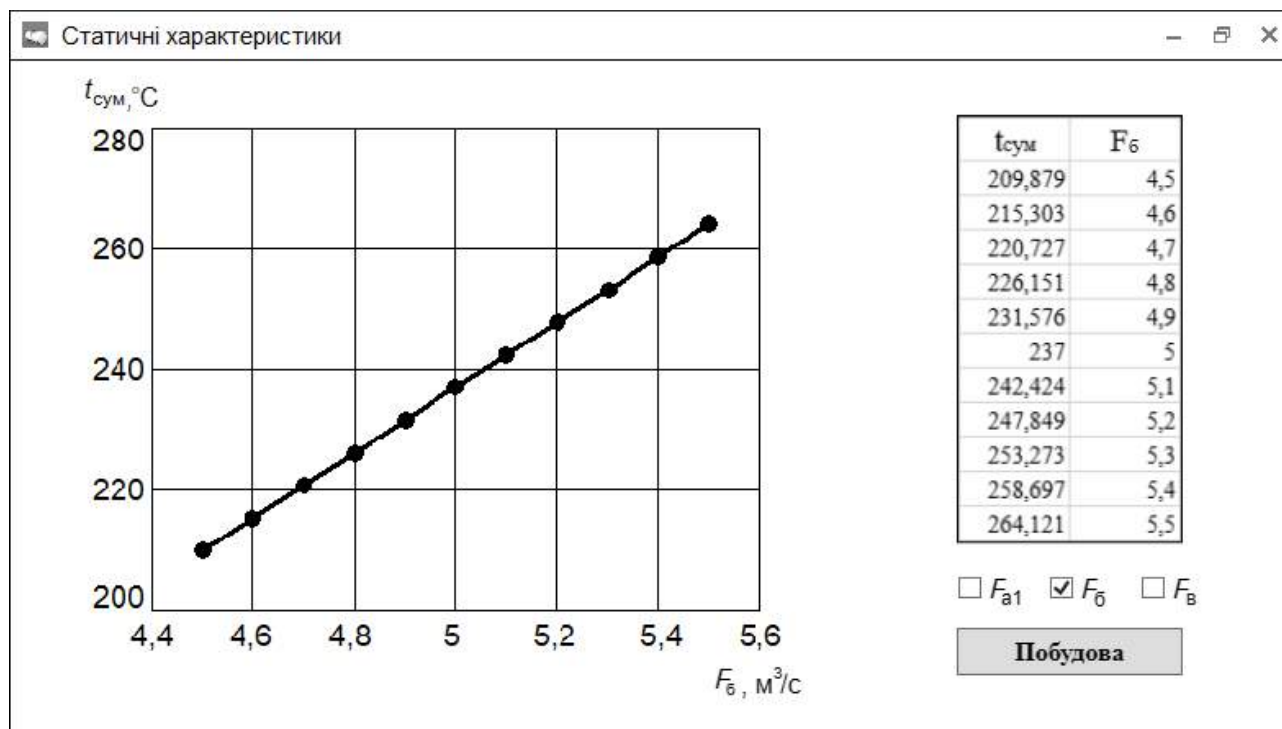


Рис. 2. Зображення вікна програми меню «Статичні характеристики»

На рис. 2 зображено графік статичної характеристики каналу регулювання температури суміші $t_{\text{сум}}$ зміною витрати потоку циркуляційного газу F_6 , а інші характеристики прикладної C#-програми можна викликати обранням відповідного каналу збурення. Розроблена прикладна програма передбачає імітаційне моделювання для дослідження роботи реального мікропроцесорного регулятора МІК-25 під час керуванні процесом реактора киплячого шару. Значення параметрів, отримані в процесі моделювання, змінюються та записуються у регістрах мікропроцесорного регулятора за допомогою імітації інтерфейсу RS-485.

1. Ластовина В. В. Властивості реактора киплячого шару при виробництві метанолу в трифазній системі [Текст] / В. В. Ластовина, В. М. Ковалевський // Тези доповідей Дванадцятій науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. – 90 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf) – вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

2. Соколов Р. С. Химическая технология [Текст]: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений: В 2 т. – Т. 2: Металлургические процессы. Переработка химического топлива. Производство органических веществ и полимерных материалов. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 277 с. – Библиогр.: с.270 – 275. – 5000 экз. – ISBN 5-691-00356-9(1).

АНАЛІЗ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА У ВИРОБНИЦТВІ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

Торкін А. С., Черьопкін Є. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, andy.torkin@gmail.com

Азотна кислота за обсягом виробництва займає друге місце після сірчаної. Стрімко збільшуваний об'єм виробництва HNO_3 зумовлюється її важливим значенням для народного господарства.

В основу процесу виробництва HNO_3 покладено охолодження нітрозних газів, що утворюються в контактному апараті. Ці гази, що після котла-утилізатора мають температуру 400...440 °С, в конденсаторі охолоджуються до 55 °С. Під час їх охолодження відбувається конденсація парів води з утворенням технічної азотної кислоти з концентрацією близько 45 %. Конденсатор являє собою трубчастий теплообмінник, що охолоджує нітрозні гази подачею води під тиском 1,079 МПа*. Схему автоматизації теплообмінника-конденсатора наведено на рисунку.

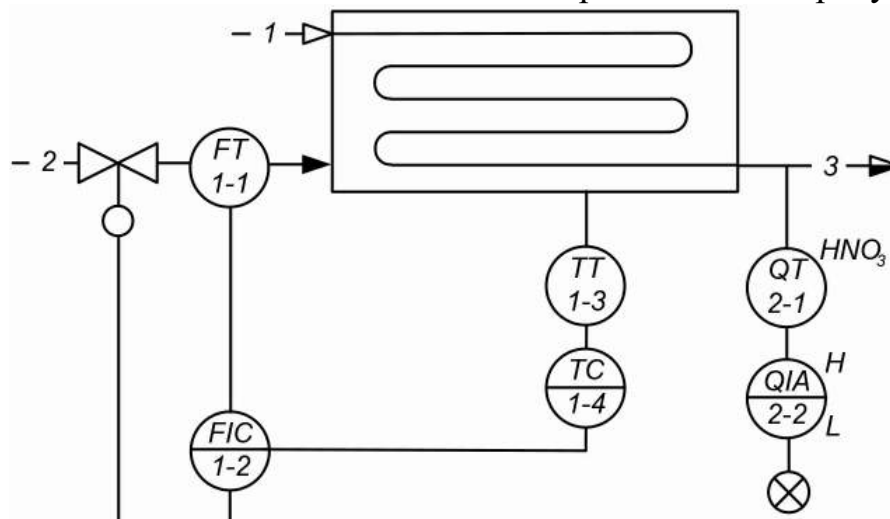


Схема автоматизації холодильника-конденсатора:

1 – нітрозні гази; 2 – вода; 3 – суміш слабкої азотної кислоти та нітрозних газів; FT – датчик витрати; TT – датчик температури; FIC – вимірювальний прилад із вбудованим регулятором витрати; TC – регулятор температури; QT – датчик концентрації азотної кислоти; QIA – вимірювальний прилад з вбудованим пристроєм сигналізації

Щоб забезпечити оптимальні умови для конденсації, необхідно керувати температурою в апараті, а також контролювати концентрацію азотної кислоти на виході з конденсатора. Для цього передбачено ряд контурів автоматичного контролю та керування, оснащених відповідними технічними засобами автоматизації: контур 1 забезпечує автоматичне керування температурою шляхом зміни витрати охолоджувальної води на вході в апарат; контур 2 здійснює автоматичний контроль та сигналізацію концентрації азотної кислоти на виході з конденсатора.

* Кутепов А. М. Общая химическая технология [Текст] : учеб. для вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарев, М. Г. Беренгартен. – 3-е изд., перераб. – М.: Академкнига, 2004. – 528 с.: ил. – Библиогр.: с. 345–346. – 2000 экз. – ISBN 5-94628-079-1.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ В АПАРАТІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ

Семенцов В. К., Ладієва Л. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, vladsem9898@mail.ru

Мета роботи – розробка методу поточного вимірювання еквівалентного діаметру в процесі роботи установки. Також розглядається процес зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі з точки зору оцінки якості гранулометричного складу. Спосіб взаємодії течії газу або рідини (зріджувальний агент) з шаром твердого, зернистого матеріалу, коли тверді частки, суспендовані в течії, мають пульсаційний або вихровий рух у межах шару псевдозрідження.

Натепер проблемам підвищення ефективності технологічних процесів, устаткування й якості гранулювання та обезводнення приділяється велика увага. Апарати з псевдозрідженим шаром застосовують для проведення процесів грануляції (сушарки-гранулятори) [1]. Якість гранул залежить від швидкості газу, складу та швидкості подавання рідини на гранулювання, температури в шарі. Конструктивно апарати з псевдозрідженим шаром мають багато спільного з апаратами для сушіння та гранулювання.

У технологічних апаратах багатьох виробництв часто використовують процеси міжфазної взаємодії висхідного потоку газу або рідини з зернистим шаром твердих частинок. Характеристики, зовнішній вигляд і властивості зернистого шару в таких процесах залежать від напрямку руху середовища (висхідний або низхідний потік), агрегатного стану і властивостей взаємодіючих фаз. У разі низхідної течії потік рухається у міжзернових каналах нерухомого зернистого шару в режимі фільтрування, у висхідній течії стан зернистого шару частинок залежить від швидкості руху середовища. Перехід нерухомого шару у псевдозріджений відбувається за такої швидкості зріджувального агента (перша критична швидкість), яка забезпечує рівновагу між силами ваги та зчеплення, з одного боку, й аеродинамічною силою течії з другого.

Псевдозріджений шар існує в діапазоні швидкостей, верхньою межею якого є швидкість (друга критична), за якої тверді частки починають виноситися з шару течією зріджувального агента. Залежно від швидкості течії псевдозріджуваний шар перебуває в одному із зазначених станів: фільтрація, розпушення, «кипіння», режим винесення. Подібний розподіл є умовним, оскільки границя існування кожного стану залежить від розмірів, форми та густини твердих часток, а також від властивостей зріджувального агента.

У сучасний період існують декілька методів оцінки гранулометричного складу [2]. Середній діаметр визначають за формулою:

$$D = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}},$$

де $x_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$; $d_i = \sqrt{d_i d_{i+1}}$; m_i , d_i – маса та діаметр i -ї фракції відповідно.

Одним із методів оцінки гранулометричного складу є ситовий аналіз. Вивантаження гранул з апарату здійснюється періодично. Ситовий аналіз не дозволяє визначити гранулометричний склад аналітично, а система регулювання за температурами не завжди забезпечує заданий гранулометричний склад. Тому необхідна розробка поточного методу еквівалентного діаметру грануляції з метою розробки системи керування.

Середньомасовий діаметр визначають за формулою:

$$d_1 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i g_i}{\sum_{i=1}^n g_i},$$

де g_i – масова доля окремих фракцій, %; d_i – середньоарифметична сукупність відповідних фракцій, мм; n – загальна кількість фракцій.

Встановлену таким чином середню величину використовують для обліку масових сил та оцінки впливу величини на хід процесів відновлення та теплообміну. Існують три можливі підходи.

Середньозважений діаметр суміші зерен за значенням питомої поверхні частин або еквівалентну по поверхності величину d_2 (мм) визначають за формулою

$$d_2 = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{d_i}}.$$

Встановлену таким чином величину еквівалентного діаметра d_2 рекомендують використовувати для оцінки впливу величини на газопроникність матеріалу. Для оцінки розподілу за діаметрами гранул використовували спектральний аналіз вібрацій-шумів, утворених «хвилями» гранул, які розбиваються об стінку камери за допомогою високочутливої матриці вібродатчиків. На цей метод вимірювання діаметру гранул істотно впливають власні коливання корпусу апарата. В умовах промислової експлуатації на шуми, створювані гранулами, також накладаються шуми двигунів приводів насосів, які подають розчин в апарат і шум газодувки.

Інший метод пропонує використовувати вібродатчик, встановлений на штанзі, що переміщується в просторі камери. Примусові синусоїдальні коливання корпусу датчика створюються за допомогою електромагнітного резонансного вібратора, розташованого, як і мікрофон, усередині корпусу. При цьому спостерігається виникнення пульсацій гранул в псевдозрідженому шарі з частотою, залежною від діаметра гранул. Для створення системи керування ставилася задача розробки поточного методу вимірювання еквівалентного діаметра гранул.

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

2. Кутепов А. М. Общая химическая технология: учеб. для студ. техн. вузов [Текст] / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – 2-е изд. – М.: Высш.шк., 1990. – 520 с. – Бібліогр.: с.517–518. – ISBN 5-06-000493-7.

ВИБІР І НАЛАШТУВАННЯ ДАТЧИКА ВАГИ ДЛЯ ДОЗАТОРА У ВИРОБНИЦТВІ ПОРИСТОЇ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ

Шевченко О. Ю., Черьопкін Є. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, oshevchenko27@gmail.com

Для отримання пористої аміачної селітри висококонцентрований плав аміаку за оптимальної температури подається у грануляційну вежу, де з нього утворюються гранули заданого розміру та ваги. На виході з апарата встановлено дозатор, задачею якого є подача у наступні етапи процесу заданої кількості отриманих гранул. Наступним апаратом технології є обертовий барабан, де відбувається процес охолодження гранул до заданої температури. В кінці технологічної лінії встановлено транспортер для переміщення гранул на лінію пакування.

Як об'єкт для розробки системи керування у цьому технологічному процесі було обрано дозатор, який має забезпечувати порційну подачу гранул для їх подальшого охолодження та пакування.

Для проведення досліджень роботи систем керування дозатором було прийнято рішення розробити його фізичну модель. Ключовим її елементом має бути датчик ваги, на основі показань якого буде вироблятися керувальний вплив на приводи заслінок, розташованих на вході та виході апарата. Вимогами до його вибору були можливість точного (до 10 г) вимірювання, максимально можлива вага (до 5 кг), живлення від лінії 5 В. Серед можливих варіантів було обрано тензодатчик *TAL220* (див. рисунок), який повною мірою відповідає висунутим вимогам і простий у використанні.



TAL220 (зовнішній вигляд тензодатчика)

Тензодатчик являє собою прямокутний брусок із алюмінієвого сплаву з отвором у центрі. На його бічну поверхню нанесено тонкоплівкові резистори, з'єднані за мостовою схемою, тому резистивний датчик має 4 гнучких виводи. Для перетворення аналогового сигналу з виходу тензорезисторного датчика в двійковий код застосовується аналого-цифровий перетворювач, на виході якого є 4 контакти для підключення до мікроконтролера.

Налаштування датчика ваги відбувалось з використанням мікроконтролера *Arduino* та спеціального програмного забезпечення*.

* Datasheet [Electronic resource] / Mode of access: WWW.URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/TAL220M4M5Update.pdf>, free. – Title from the screen. – English language.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ СТІЧНИХ ВОД З БУФЕРНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Осіпа Р. А., Галім'янов О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, preeved57@gmail.com

Забруднення скидами шкідливих речовин у довкілля, підземних вод та ґрунту в районі розташування промислових підприємств належить до чинників несприятливого впливу діяльності людини на довкілля. Нині – як у країнах Європейського союзу, так і в світовому масштабі – завдання збереження водних ресурсів стало надзвичайно актуальним.

Практично завжди очищення стічних вод – це комплекс методів. Дуже широко використовується сполучення механічного очищення, нейтралізації стоків, реагентного та біологічного очищень. Як показав наш аналіз, а також аналіз провідних фахівців цієї галузі України, для очищення стічних вод дуже розповсюдженим є процес нейтралізації. Це зумовлено тим, що серед забруднювачів кислоти та луги мають значну питому вагу. Для типових процесів очищення взагалі – і для процесу нейтралізації зокрема – характерна нестаціонарність. Тому процес нейтралізації буде ефективним в умовах функціонування автоматичної системи керування, завданням якої буде знаходження та реалізація оптимальних керувальних впливів після збурення вхідних параметрів. А правильне налаштування параметрів регулятора зменшить витрати на забруднення у довкілля.

До буферних стічних вод відносять стічні води, забруднені слабкими кислотами, основами та їх солями в суміші з сильними кислотами. У цих водах зв'язок між концентрацією забруднювачів та рН значно відрізняється від зв'язку цих параметрів у розчинах сильнодисоційованих речовин. Процес нейтралізації протікає у реакторі з мішалкою, куди подається реагент. Як реагент у очищенні подібних стічних вод використовується гідроксид кальцію. На вхід апарата подаються стічні води з певними витратою, рН та температурою. Під час змішування компонентів рівень рН нормалізується. Зміни концентрацій кислот, витрат реагента та стічних вод, що кількісно змінюють співвідношення у реакторі, як наслідок, змінюють значення рН на виході.

Ці декілька кислот, що надають стічним водам властивість буферності, відрізняються за своїми фізичними та хімічними властивостями, тому під час нейтралізації відбуваються складні динамічні процеси, а саме – під час подачі певної кількості реагенту у розчині спочатку реагує сильна кислота, наступною реагує дещо слабша, а останньою – найслабша.

У певний момент часу можна спостерігати, як іони $[H^+]$ після реакції всього об'єму реагента і за великої різниці між ступенями дисоціації кислот, переходять від слабшої кислоти з меншим ступенем дисоціації до сильнішої кислоти з більшим високим ступенем дисоціації. Таким чином, середнє значення концентрації іонів $[H^+]$ у розчині встановиться за певний час. Таку систему можна вже описувати не як систему з розподіленими параметрами, а як систему з зосередженими параметрами.

У очищенні стічних вод важливим є час виходу на усталене значення та статична похибка між заданим значенням і значенням рН на виході. Тому дослідження динамічних процесів всередині реактора у цьому конкретному випадку буде другорядним завданням. Похибка, що з'являється під час такого спрощення, незначним чином впливає на математичне моделювання процесу нейтралізації.

Безумовно, під час математичного моделювання ці особливості процесу врахувати необхідно, проте для завдання налаштування параметрів регулятора математичну модель процесу можна спростити, що зменшить складність розрахунків*. Для описаного процесу нейтралізації таке спрощення припустиме, тому що усталене значення рН на виході потрібно утримувати за деякий проміжок часу. Коливаннями, що виникають в системі, можна знехтувати, тому що вони згасальні, з показником згасання понад 15 %.

Таким чином, зазначений процес можна описати аперіодичною ланкою другого порядку, а не третього чи ще вищого. Нами досліджено, що коли систему описати аперіодичною ланкою 1-го порядку, то математична модель буде описувати процес зі значно більшим відхиленням розрахункової перехідної характеристики від експериментальної.

Запропонований підхід може бути використано лише за невеликих кількості кислот-забруднювачів (якими є буферні стічні води). За такого ступеня дисоціації слабкі кислоти мають мало відрізнятися одна від одної, тому спрощення математичної моделі процесу до рівня аперіодичної ланки 2-го порядку допустиме і суттєво не вплине на точність.

Таким чином, опис процесу аперіодичною ланкою 2-го порядку покращує швидкодію системи за незначних похибок. За допомогою такого підходу ми зможемо коректно описувати динаміку реактора як системи із зосередженими параметрами та виконати розрахунок параметрів налаштування регулятора.

* Stanley K. Industrial effluent water pH Neutralization controller design using LabVIEW & Matlab [Text] / K. Stanley, S. Gandhi // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2017. – Vol. 117, No. 10/ – pp. 19–23/ – ISSN 1311-8080, doi: 10.12732/ijpam.v117i10.

АНАЛІЗ СХЕМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Ковалюк Д. О., Степанюк М. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, marinastepaniuk@ukr.net

Якісне керування будь-яким технологічним процесом неможливе без врахування його поточного стану та розрахунку керувальних впливів у реальному часі. Існують різні підходи до керування, серед найпоширеніших виділяють класичні, адаптивні, робастні та нейромережеві регулятори. Кожен може впоратися краще чи гірше відповідно до поставленої задачі. В роботі розглядаються різні схеми нейромережевого керування, їхні переваги та недоліки.

Нейронні мережі мають ряд унікальних властивостей, які роблять їх потужним інструментом для створення систем керування: здатність до навчання на прикладах і узагальнення даних, здатність адаптуватися до зміни властивостей об'єкта керування та зовнішнього середовища, придатність для синтезу нелінійних регуляторів, висока стійкість до пошкоджень своїх елементів завдяки закладеному в нейромережевому архітектурі паралелізму. На сьогодні існує декілька схем застосування нейромереж для керування, які базуються на використанні методів «наслідувального» або інверсного нейрокерування.

Назва «наслідувальне нейрокерування» охоплює системи нейрокерування, в яких нейроконтролер навчається на прикладах динаміки звичайного контролера за допомогою зворотнього зв'язку, побудованого на основі звичайної пропорційно-інтегрально-диференціальної (ПІД) схеми керування [1]. Схему наслідувального нейрокерування показано на рис. 1. Для вводу у нейроконтролер затриманих даних через канал зворотного зв'язку використовується блок *Time Delay*. Після навчання нейронна мережа в точності відтворює функції вихідного контролера. Як приклади динаміки контролера може бути використаний запис поведінки людини-оператора.

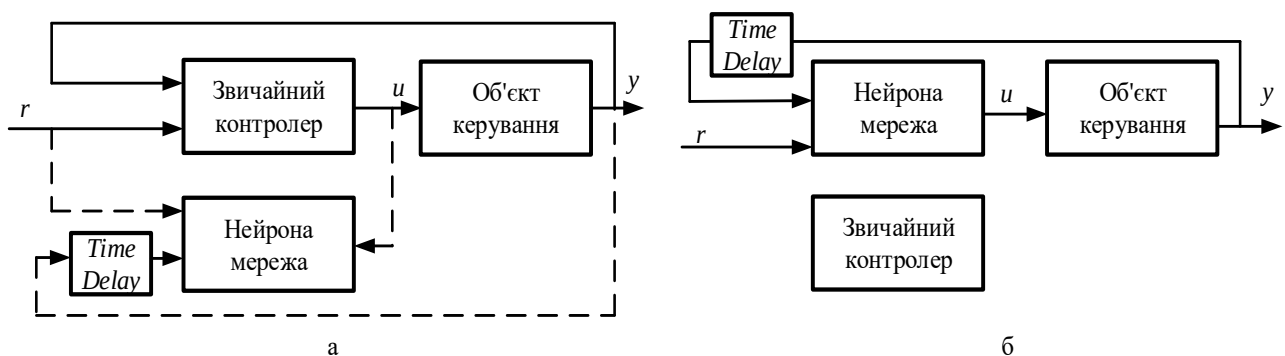


Рис. 1. Схема наслідувального нейрокерування:
а – режим навчання нейронної мережі; б – режим керування

Переваги наслідувального нейрокерування – простота, відсутність необхідності точної математичної моделі. Недоліки наслідувального нейрокерування – необхідність у попередньо налаштованому вихідному контролері, що не

завжди є можливим; також налаштований нейроконтролер не забезпечить кращу якість керування, ніж скопійований.

Метод інверсного нейрокерування передбачає навчання мережі на основі записаних траєкторій поведінки динамічного об'єкта. Для отримання таких траєкторій, на об'єкт керування як керувальний сигнал подають деякий випадковий процес. Значення величин на вході та виході контролера протоколюються, і на основі протоколу формується навчальна вибірка для нейронів нейронної мережі $U = \{P_i, T_i\}_{i=1}^M$, що містить M пар значень входу P_i та очікуваних реакцій T_i нейромережі.

В ході навчання нейронна мережа повинна вловити та запам'ятати залежність значень керувального сигналу від подальшого значення реакції об'єкта керування [2]. Цю нейронну мережу називають «інверсний нейроемулятор».

Схему інверсного нейрокерування показано на рис. 2.

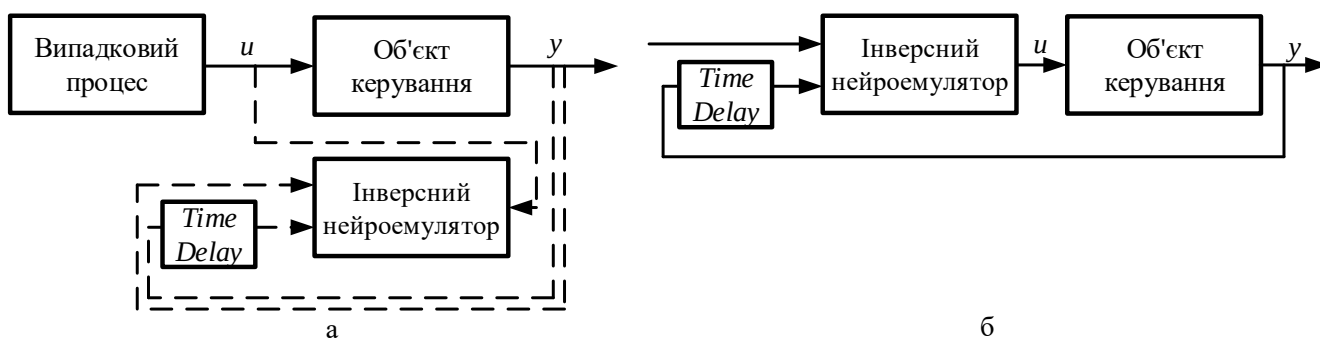


Рис. 2. Схема інверсного нейрокерування:
а – режим навчання нейронної мережі; б – режим керування

До переваг інверсного нейрокерування слід віднести високу якість керування динамічними об'єктами та відсутність необхідності точної математичної моделі. Недоліки інверсного нейрокерування – складність формування навчальної вибірки, низька якість роботи, коли інверсія об'єкта керування є неоднозначною функцією.

Розглядаючи можливість застосування нейронних мереж для керування скруббером у процесі депарафінізації твердого палива, можна зауважити, що такий підхід є достатньо перспективним, враховуючи зміну властивостей об'єкта з плином часу та зовнішніх умов його функціонування. За рахунок реалізації нелінійних алгоритмів керування та здатності нейронних мереж до адаптації можна збільшити точність керування.

1. Нейронные сети в системах автоматизации [Текст] : пособие для студентов вузов / В. И. Архангельский, И. Н. Богаенко, Г. Г. Грабовский, Н. А. Рюмшин. – К.: Техника, 1999. – 363 с. – Библиогр.: с. 356. – 1000 экз. – ISBN 5-94157-832-7.

2. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст] : пособие для студентов вузов / В. В. Круглов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с. – Библиогр.: с. 211. – 1000 экз. – ISBN 5-93517-031-0.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФЛОКУЛЯНТА

Цапар В. С., Баженова М. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, bazhenova.m.n@yandex.ua

Процес очищення води з використанням флокулянта як один із інтенсифікованих процесів очищення води від колоїдно-дисперсних речовин на сьогодні є актуальним, адже постачання доброякісною водою населених пунктів і промислових підприємств та знешкодження стічних вод перед випуском у водойму має велике гігієнічне значення, бо запобігає захворюванням епідемічними хворобами. Постійне піклування про здоров'я людей обумовило високі вимоги до якості води для питних і господарських потреб. На промислових підприємствах одержання води потрібної якості необхідне для поліпшення якості та здешевлення продукції [1]. Для очищення води ущільнення та зневоднення осаду із порошків, гелів або високов'язких рідин на водопровідних та каналізаційних станціях приготують розбавлені робочі розчини флокулянта.

Флокуляція – один із видів коагуляції, в процесі якої дрібні частки, що перебувають у зваженому стані, під впливом спеціально доданих речовин (флокулянтів) утворюють пухкі пластівцеподібні скупчення – так звані флокули. До флокулянтів належать неорганічні або органічні високомолекулярні сполуки (ВМС), які сприяють утворенню агрегатів у результаті об'єднання кількох часточок за допомогою макромолекули адсорбованого або хімічно зв'язаного полімеру [2]. Невеликі добавки (тисячні або мільйонні частки від твердої фази) цих речовин істотно змінюють стабільність дисперсій. Вони прискорюють утворення пластівців гідроксидів алюмінію та заліза, осадження пластівців, збільшують щільність коагулянту та ступінь прояснення води [3]. Процеси флокуляції складаються з адсорбції ВМС і агрегації часточок полімером. Тому, розглядаючи кінетику флокуляції, слід враховувати швидкість дифузії макромолекул до поверхні часточки та досягнення адсорбційної рівноваги. Процес очищення води з використанням флокулянта являє собою двоступеневу технологічну схему, що включає стадії приготування та дозування робочих розчинів флокулянта. Технологічний процес включає в себе отримання 0,25...0,1-відсоткових розчинів, які потім, під час самого дозування, розбавляють до 0,02...0,1-відсоткових [4].

Особливістю процесів очищення води є наявність великої кількості різних фізичних, хімічних, фізико-хімічних методів очищення та методів, що використовуються в побутових фільтрах. Такий складний процес вимагає особливої чіткості ведення процесів та оптимального режиму керування. Щоб таке складне виробництво в умовах всесвітньої глобалізації було конкурентоздатним, необхідно застосовувати сучасні методи автоматизації.

Система автоматизації має вирішувати такі основні завдання: забезпечення заданої якості очищеної води, приготування розбавлених робочих розчинів флокулянта в кількості й якості, необхідних для процесу очищення.

Отримання очищеної води із використанням флокулянта неможливе без контролю та керування перебігом технологічного процесу. Тому в подальшому буде досліджено показники якості очищеної води, проведено аналіз виробництва для покращення роботи технологічних апаратів шляхом застосування нового устаткування та нових технічних засобів автоматизації, що відповідають вимогам точності та економічності.

1. Колобанов С. К. Водопостачання і каналізація [Текст]: навч. посіб. / С. К. Колобанов. – К.: Державне видавництво літератури з будівництва і архітектури УРСР, 1962. – 347 с. : ил. – Бібліогр.: с. 121–224. – 1200 пр.

2. Запольский А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод [Текст]: підручник. / А. К. Запольский. – К.: Лібра., 2000. – 552 с. : ил. – Бібліогр.: с. 141–148. – 4000 пр. – ISBN 966-7035-28-X.

3. Запольский А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] : підручник / Запольский А. К. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с. : ил. – Бібліогр.: с. 234–235. – 3000 пр. – ISBN 966-642-234-4.

4. Вейнц Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод [Текст] : учеб. Пособ. / Ю. И. Вейнц, Д. М. Минц. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 200 с.: ил. – Библиогр.: с. 154–159. – 6700 экз.

ПРИКЛАДНА C#-ПРОГРАМА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕАКЦІЙНОЇ ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ

Бишовець Д. С., Ковалевський В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ByshovetsDmytro@ukr.net

Отримання досвіду керування технологічним процесом є одним з найголовніших чинників становлення гарним фахівцем з автоматизації технологічних процесів. Тому для отримання цих навичок було реалізовано навчально-імітаційну прикладну C#-програму для моделювання та спостереження теплових режимів роботи реакційної трубчастої печі на основі введених користувачем відповідних параметрів процесу. Схема трубчастої печі та значення параметрів хіміко-технологічного процесу відповідають роботі [1]. За основу для програмування прикладної імітаційної програми було взято результати роботи [2].

Для завдання параметрів технологічного процесу трубчастої печі було розроблено форму, зображену на рис. 1.

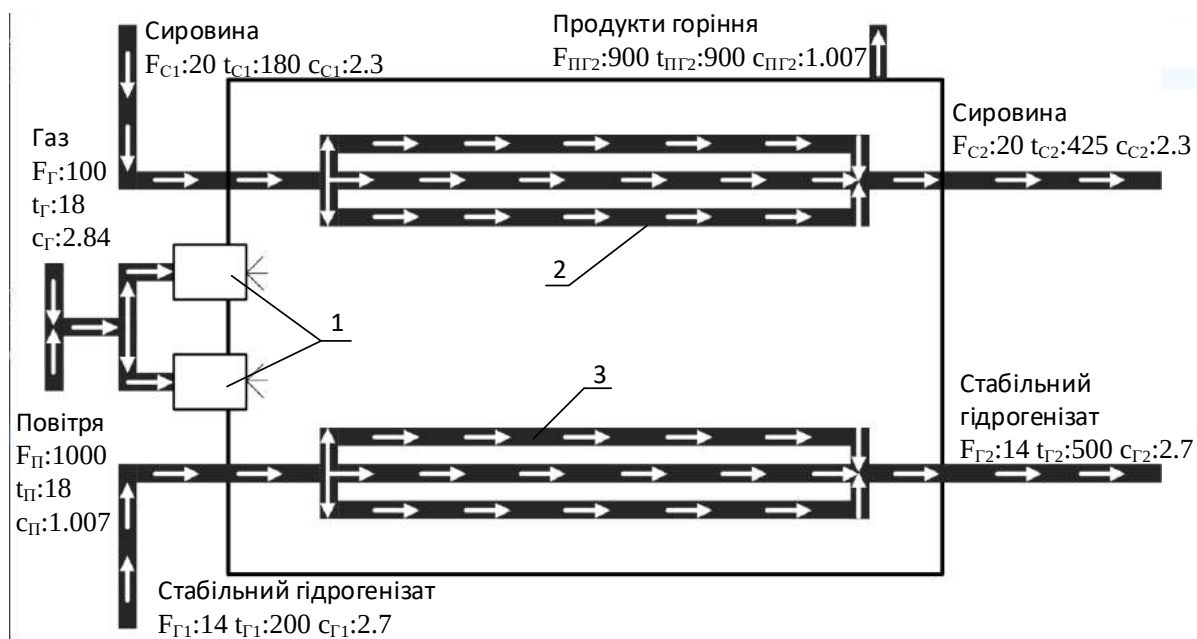


Рис. 1. Основна форма вікна прикладної C# програми:

1 – газові горілки; 2 – теплообмінні трубки сировини широкої фракції; 3 – теплообмінні трубки гідрогеніза́ту; F_{C1} , t_{C1} , c_{C1} – витрата, температура та теплоємність сировини на вході у піч відповідно; F_{C2} , t_{C2} , c_{C2} – витрата, температура та теплоємність сировини на виході з печі відповідно; $F_{Г1}$, $t_{Г1}$, $c_{Г1}$ – витрата, температура та теплоємність гідрогеніза́ту на вході у піч відповідно; $F_{Г2}$, $t_{Г2}$, $c_{Г2}$ – витрата, температура та теплоємність гідрогеніза́ту на виході з печі відповідно; F_G , t_G , c_G – витрата, температура та теплоємність газу відповідно; F_P , t_P , c_P – витрата, температура та теплоємність повітря відповідно; $F_{ПГ}$, $t_{ПГ}$, $c_{ПГ}$ – витрата, температура та теплоємність продуктів горіння відповідно

Прикладна C#-програма дає змогу користувачу встановлювати відповідні значення до вхідних параметрів та спостерігати за характеристиками різних ка-

налів впливу на процес трубчастої печі. Для спостереження за реакцією технологічного об'єкта керування на відповідні параметри процесу було розроблено форму, на якій реалізовано типові алгоритми та відповідні їм програмні модулі, що дозволяють спостерігати за реакцією контурів регулювання з мікропроцесорним регулятором за різними каналами (рис. 2).

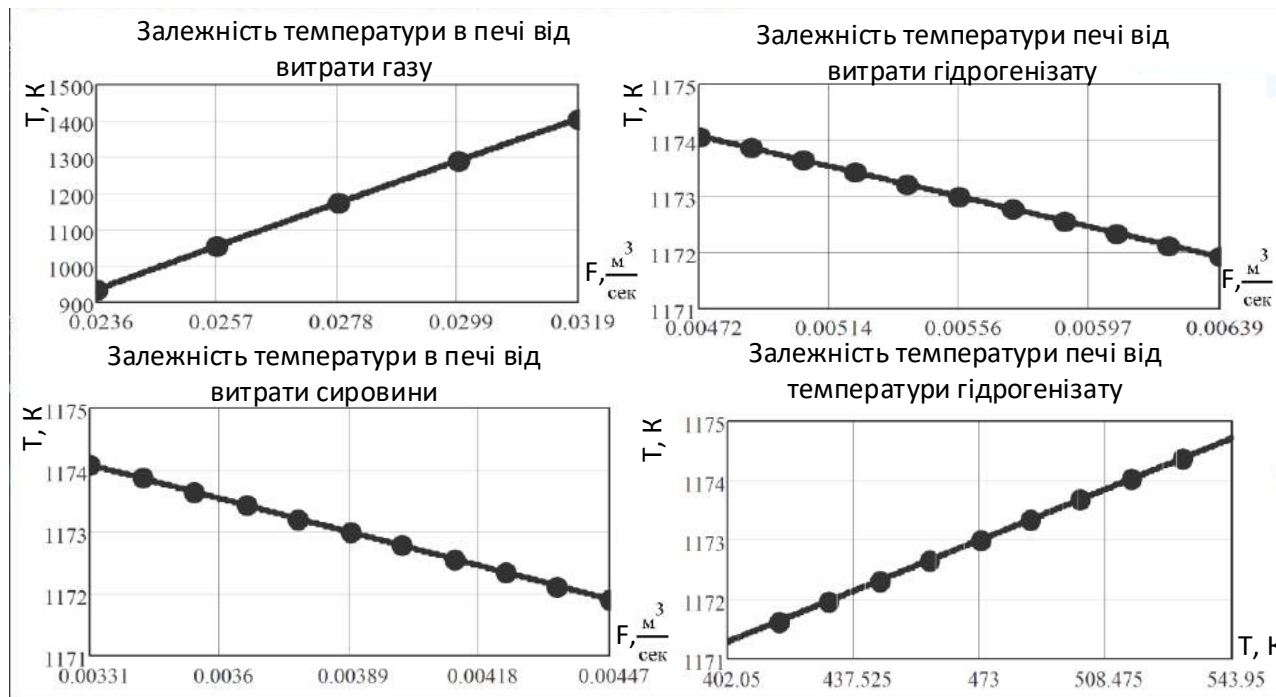


Рис. 2. Форма спостереження статичних характеристик

В прикладній С#-програмі використовуються математичні моделі, за допомогою яких розраховуються статичні та динамічні властивості [2]. Значення, що розраховуються при імітації, розглядаються для каналів регулювання (витрата газу – температура печі) та збурення (витрата сировини – температура печі, витрата гідрогенізата – температура печі, температура гідрогенізата – температура печі). Розраховані значення вихідних параметрів передбачено передавати через інтерфейс RS485 до регістрів регулятора МІК21 зі спостереженням зміни значень на виході мікропроцесорного регулятора на збурення та зміну завдання регулятор.

1. Соколов Р. С. Химическая технология [Текст]: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений: В 2 т. – Т. 2: Металлургические процессы. Переработка химического топлива. Производство органических веществ и полимерных материалов / Р. С. Соколов – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 277 с. : ил. – Библиогр.: с. 270–275. – 5000 экз. – ISBN 5-691-00356-9.

2. Бишовець Д. С., Ковалевський В. М. Статичні властивості реакційної трубчастої печі в технологічній схемі каталітичного риформінгу [Текст] / Д. С. Бишовець, В. М. Ковалевський // Тези доповідей Дванадцятій науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05–06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. – 90 с.: ил. – Бібліогр.: в кінці тез. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf) – вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

ОРГАНІЗАЦІЯ СТРУКТУРНО-ІНВАРІАНТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ З ПРОГНОЗУВАННЯМ

Смирнов В. С., Вайц Д. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ater@email.ua

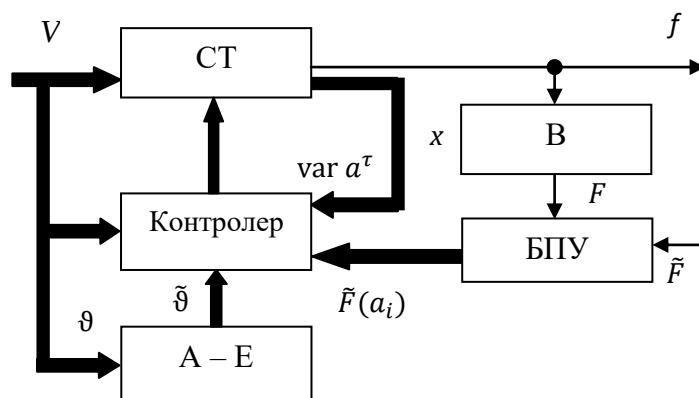
Основним завданням теорії інваріантності є відшукування таких умов структурної побудови перетворювальної системи, з виконанням яких рух однієї або декількох координат системи не залежатиме від одного або більшого числа входних впливів.

У структурній схемі адаптивної системи координатно-параметричного керування досить чітко виділяються два рівні ієрархічної структури: перший включає об'єкт управління ОУ та регулятор координатного управління, другий включає блок адаптації для регулятора координатного управління (РКУ) і регулятор параметричного управління (РПУ).

Основний контур з блоком адаптації являє структуру самоналагоджувальної системи – адаптивної системи координатного управління, а регулятор параметричного управління змінює параметри об'єкта, які є коефіцієнтами математичної моделі об'єкта.

Завдання другого рівня ієрархічної структури системи зводиться до забезпечення умов, за яких основний контур здатний забезпечити виконання об'єктом його функціонального завдання у широкому діапазоні зміни динамічних властивостей об'єкта.

Структуру ППС з координатним управлінням і еталонною моделлю наведена на рисунку. Засобом вирішення завдання є зміна параметрів, а можливо, і структури регулятора координатного управління, а також видозміна самого об'єкта управління в процесі роботи за допомогою зміни його параметрів.



Структура ППС з координатним управлінням
та еталонною моделлю

Однак і в разі певної системи рівнянь для обчислення (a_i^T) потрібно мати інформацію про збурення (в тому числі параметричні) протягом усього такту перетворення.

Якщо прийняти як вихідне припущення про довільний характер збурень, тобто вважати їх невідомими функціями часу (нехай навіть обмеженими по модулю), то розв'язати задачу формування a_i^T для забезпечення інваріантності $F(a_i)$ щодо цих збурень у загальному випадку не можна. Вирішити завдання вихідних рівнянь можна тільки у разі відомого закону збурень (що буває вкрай рідко), або за допомогою екстраполяції збурень на весь такт управління. З цією метою до складу СУ слід ввести аналізатор-екстраполятор (АЕ).

Представлена організація ППС може розглядатися як структура з координатним управлінням і еталонною моделлю*.

Від точності екстраполяції залежить точність реалізації умов інваріантності. Точність прогнозу при цьому зростає за рахунок зменшення інтервалу дискретизації.

В процесі вироблення керувального впливів існує необхідність у цифровій обробці сигналів (ЦОС) в реальному масштабі часу. Подання сигналів у цифровій формі здійснюється за допомогою ІКМ або дельта-моделювання (ДМ). Численні види ДМ-уявлення ґрунтуються на дискретизації в часі, квантуванні за рівнем і кодуванні різниці між відліками вхідного й апроксимувального сигналів. Результатом є дельта-код, взаємопов'язаний з кроками квантування. Дельта-модуляція характеризується зв'язком між кроками квантування й є більш завадостійкою, ніж ІКМ: у разі пропадання або трансформації кодових значень катастрофічного збою, як із ІКМ, не відбувається.

У адаптивної ДМ (АДМ) апроксимувальний сигнал $\{x_i\}$ формується в процесі передбачення розміру кроку квантування на основі аналізу декількох попередніх. АДМ має властивість компресії (стиснення), завдяки чому кодер змінює структуру вихідний кодової послідовності таким чином, щоб при її декодуванні підтримувалася мінімальна похибка.

Метод ґрунтується на тому, що зростанню або зменшенню сигналу відповідає не менше двох наступних посліпів груп 01 або 10 на відповідному інтервалі. Такий метод дозволяє здійснити не тільки аналіз-екстраполяцію вхідного сигналу, але і його стиснення.

Функціональна організація багатоопереційних структурно-інваріантних ПП дозволяє здійснити відтворювання та глибоке регулювання параметричних збурень, причому використання дельта-модуляції з метою екстраполяції впливає, при цьому застосування формату ДМ-кодів однакової розрядності з ІКМ забезпечує більш високу роздільну здатність і точність екстраполяції.

* Адаптивные системы автоматического управления / В. Н. Антонов, А. М. Пришвин, В. А. Терехов, А. Э. Янчевский / Под ред. В. Б. Яковлева. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 204 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 195–199.

МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОГО АПАРАТА У ВИРОБНИЦТВІ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

Миленький В. В., Тихонюк А. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, milenkyvv@ukr.net

Значна кількість процесів у хімічній промисловості є неперервними, і виробництво триває цілодобово. Зупинка таких процесів призводить до значних економічних втрат. Проведення активного експерименту на виробництві ускладнене (через необхідність зупинки виробничого процесу та ризик пошкодження дослідником промислового обладнання). Проведення ж пасивного експерименту часто не дає досліднику достатньої інформації про спостережуваний об'єкт (через дуже малі відхилення вхідних сигналів об'єкта і неможливість впливу дослідником на кожний вхідний сигнал окремо). Привабливою альтернативою в такому разі є створення імітаційної моделі.

Створення імітаційної моделі вирішує багато проблем. Є можливість задавати будь-які значення вхідних сигналів незалежно один від одного. Є можливість моделювати аварійні ситуації. У сучасному світі, перехідні процеси в хімічній промисловості тривають впродовж багатьох годин. За допомогою комп'ютерних імітаційних моделей інформацію про перехідний процес можна отримати майже миттєво (залежно від кількості обчислень і потужності обчислювальної техніки).

Прикладом довготривалого неперервного процесу може бути процес контактного окиснення у виробництві сірчаної кислоти. Окиснення сірчистого ангідриду SO_2 в сірчаний SO_3 відбувається в контактних апаратах за присутності ванадієвого каталізатора. В середині апарата розташовано чотири шари контактної маси. Контактна маса розміщена на решітках. Одним з основних показників якості роботи контактних апаратів є ступінь контактування χ_p .

Основними збуреннями є зміна концентрації та температури газу на вході контактної відділення (у разі зміни концентрації змінюється кількість тепла, що виділяється в процесі реакції окиснення, а це суттєво впливає на температурний режим в апараті). На реальному об'єкті ці збурення зазвичай обмежуються і є дуже малими (великі відхилення цих двох параметрів призводять до аварійних ситуацій). Щоб дослідити реакцію контактної апарату на довільний – за величиною та формою – сигнал, необхідно створити імітаційну модель.

На реальному об'єкті система автоматичного керування підтримує сталі значення температури газу на вході до кожного шару контактної маси (каталізатора). Зазвичай температури газу на входах до кожного шару перебувають у межах 420...450 °С. Максимальна ж температура на виході з шару каталізатора складає близько 600 °С. Зниження температури газу до 400 °С і нижче призводить до зупинки реакції (а це є неприпустимим у неперервному виробництві). Перехідні процеси в контактному апараті тривають декілька годин. Новий запуск процесу зумовлює значні втрати часу (а отже – збиток). Підвищення ж температури до 650 °С і вище призводить до перегріву каталізатора і його псування.

ню. За таких обставин необхідно зупиняти процес і замінювати каталізатор, що спричинює значні матеріальні витрати. Зрозуміло, що проведення активного експерименту просто неприпустиме. Імітаційна ж модель дає можливість як заочно впливати на температурний режим всередині контактного апарата. Є можливість досліджувати температурні режими близькі до аварійних (за температури на вході до одного з шарів каталізатора близької до 500 °С або температури на виході з одного із шарів каталізатора близько 650 °С).

Ступінь контактування залежить від температури газу. Він буде найбільшим за температури газу, близької до 400 °С, і з підвищенням температури ступінь контактування зменшуватиметься. Поставимо задачу підтримання такої середньої температури, щоб загальний ступінь контактування (на всіх чотирьох шарах каталізатора) був якнайбільшим. У такому разі повинні виконуватись певні обмеження. Температура газу на вході до будь-якого шару каталізатора не повинна бути меншою за 400 °С (бо реакція може припинитись). Температура газу на виході з будь-якого шару каталізатора не повинна перевищувати 650 °С (це може призвести до псування каталізатора).

За результатами проведеного імітаційного моделювання можна зробити такі висновки.

1. Об'єкт є майже нечутливим до короткотривалих збурень. Тому немає необхідності проектувати систему автоматичного керування з високою швидкістю. Рекомендуються сталі часу для систем керування концентрацією і температурою газу, що приблизно дорівнюють 10 хвилинам.

2. Найбільш небезпечним для процесу контактного окиснення є підвищення концентрації SO₂. Номінальна концентрація становить 7,4 %. У разі підвищення концентрації газ необхідно розбавляти повітрям (для нормалізації концентрації). В процесі розробки системи автоматичного керування слід враховувати наступні обмеження: максимальне статичне відхилення концентрації $\pm 0,1$ %; максимальне динамічне (короткотривале) відхилення концентрації ± 1 %.

ВИБІР І НАЛАШТУВАННЯ ВИКОНАВЧОГО МЕХАНІЗМУ У ВИРОБНИЦТВІ ГРАНУЛЬОВАНОЇ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ

Савула А. А., Черьопкін Є. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, aasavula@gmail.com

Виробництво гранульованої аміачної селітри включає в себе декілька основних етапів: вироблення аміаку, отримання висококонцентрованого плаву аміачної селітри, гранулювання плаву, охолодження гранул, оброблення гранул диспергатором «НФ», пакування та зберігання готового продукту.

Оскільки остаточне формування кінцевого продукту відбувається у змішувачі, було вирішено дослідити можливість підвищення якості роботи цього апарата шляхом розробки нової системи керування.

Перш за все виникла необхідність у розробці фізичної моделі змішувача, на якій можна було б перевірити ефективність розроблених алгоритмів керування. Для керування витратою двох вхідних і одного вихідного потоків у зазначеному технологічному об'єкті використовуються регулювальні клапани. Перед нами постала задача їх вибору з урахуванням певних вимог: придатність для роботи з кислотним середовищем, можливість контролю ступеня відкриття виконавчого механізму, живлення від 5 В. Відповідно до зазначеного вище, було обрано виконавчий механізм *CWX-15DN8*.

Проведено налаштування регулювального клапана та визначення його статичних та динамічних характеристик. Було зібрано лабораторну установку, що складалась з двох резервуарів, розташованих вертикально, та встановленого між ними регулювального клапана. Для побудови характеристик його роботи було обрано кілька контрольних точок ступеня відкриття, а саме: 25 %, 50 %, 75 %, 100 %. У цих точках проведено заміри часу відкривання та закривання регулювального клапану, часу його роботи та витрати рідини.

На основі отриманих даних побудовано характеристики роботи регулювального клапана, а саме: функціональну залежність між ступенем його відкриття та значенням витрати, а також між ступенем відкриття та часом, за який регулювальний клапан перейшов у відповідне положення.

Результати дослідження показали, що обраний виконавчий механізм відповідає зазначеним вимогам і може бути використаний під час розробки фізичної моделі змішувача у технологічному процесі виготовлення гранульованої аміачної селітри.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ В СУШИЛЬНІЙ БАШТІ КОНТАКТНОГО ЦЕХУ НА ВИРОБНИЦТВІ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

Ладієва Л. Р., Думанський М. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, banderakit@gmail.com

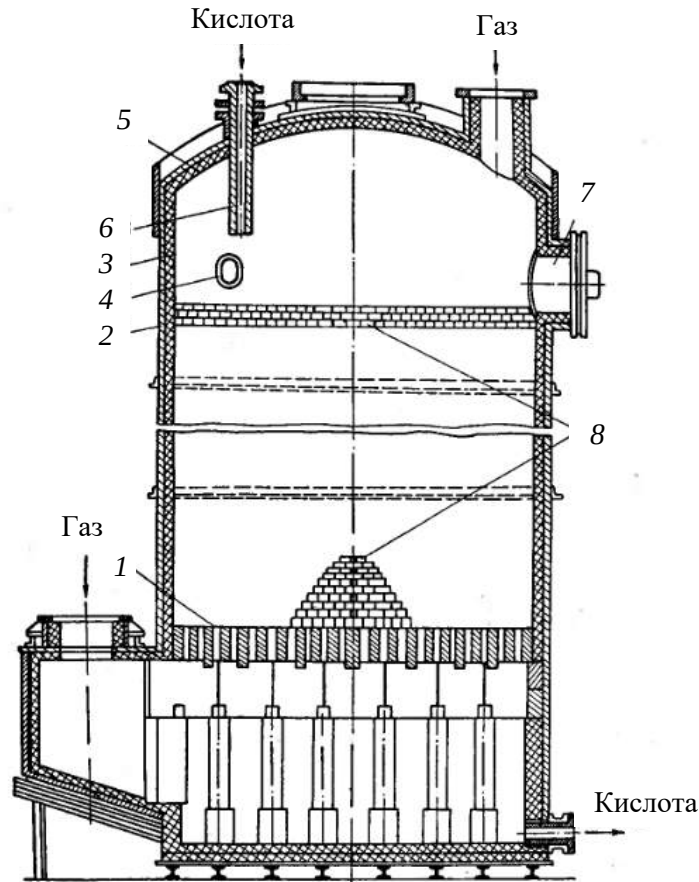
У виробництві сірчаної кислоти з колчедану і газів кольорової металургії контактним способом технологічна схема виготовлення ускладнюється, позаяк вводиться додаткова апаратура для очищення випалювального газу від шкідливих домішок, перш за все – миш'яку.

Випалювальний газ охолоджується в двох промивних баштах, перша з яких зрошується 60...70-відсотковою, а друга – 15...25-відсотковою сірчаною кислотою. Утворений при цьому туман лише частково поглинається в промивних баштах, повністю він видаляється тільки в мокрих електрофільтрах. Для покращення умов видалення туману в електрофільтрах, зменшують концентрацію зрошувальної кислоти. Відносна вологість газу зростає, що призводить до поглинання парів води краплями туману та збільшення розміру крапель. Зі збільшенням крапель (часток) вони отримують у фільтрі більший заряд і, відповідно, з більшою силою притягаються.

У другій промивній та зволожувальній колонах газ майже повністю насичується парами води, тому зміст водяних пар у газі, що надходить у сушильну колону, залежить від його температури та концентрації кислоти, що зрошує другу промивну колону. Пари води не шкідливі для ванадієвої контактної маси, але їх присутність у газі призводить до конденсації кислоти в теплообмінниках контактного відділення та утворення туману в абсорбційному відділенні. Через це можливі великі втрати сірчаної кислоти з відхідними газами, оскільки туман дуже погано вловлюється у звичайній абсорбційній апаратурі. Звідси необхідність ретельного осушування випалювального газу в очисному відділенні. Осушування газу проводиться в насадкових баштах, де пари води абсорбуються концентрованою сірчаною кислотою. Вміст вологи в газі на виході з сушильних башт, не має перевищувати $0,08 \text{ г/м}^3$ (0,01 об. %)*.

Сушильна башта (див. рисунок) представляє собою сталевий циліндричний корпус 2, футерований кислотостійкою цеглою 3. На сферичній кришці 5 розміщено патрубки для виведення газу та розпилювачі 6 для зрошувальної кислоти. Башту заповнено насадкою 8, що складається з кислотостійких керамічних кілець і підтримується колосниками 1 з кислотостійкої цегли або плит. Для розподілу зрошувальної кислоти в баштах використовуються зрошувальні плити з тарілками, відбивально-щілинні розпилювачі та зрошувальні жолоби. У верхній частині башти наявні два оглядових скла 4 і лаз 7 для завантаження та вивантаження насадки.

* Амелин А. Г. Технология серной кислоты [Текст] / А. Г. Амелин. – 2-е изд., перераб. – К.: «Химия», 1983. – 360 с. – Библиогр.: с. 350–352. – 9000 экз.



Конструкція сушильної башти

Метою роботи є створення математичної моделі апарата для ефективного керування процесом осушування випалювального газу.

Теплові баланси для акумулювальної ємності випалювального газу та сірчаної кислоти можна записати у вигляді

$$F_{g0}C_g\Theta_{g0} - F_{g1}C_g\Theta_{g1} + KS(\Theta_{g0} - \Theta_{k0}) = V_gC_g\rho_g(d\Theta_{g1}/dt);$$

$$F_{k0}C_k\Theta_{k0} - F_{k1}C_k\Theta_{k1} + Q - KS(\Theta_{g0} - \Theta_{k0}) = V_kC_k\rho_k(d\Theta_{k1}/dt),$$

де F_{k0} – витрата сірчаної кислоти; F_{k1} – витрата відпрацьованої кислоти; F_{g0} – витрата випалювального газу; F_{g1} – витрата осушеного газу; C_k – питома теплоємність сірчаної кислоти; C_g – питома теплоємність випалювального газу; Θ_{k0} – температура сірчаної кислоти; Θ_{k1} – температура відпрацьованої кислоти; Θ_{g0} – температура випалювального газу; Θ_{g1} – температура осушеного газу; Q – теплота, виділена при абсорбції оксиду сірки парами води; V_g – об'єм газу в апараті; ρ_g – густина випалювального газу; V_k – об'єм кислоти в апараті; ρ_k – густина кислоти.

Рівняння матеріального балансу по воді запишемо так:

$$F_{g0}X_0 - F_{k1}X_1 = V_v\rho_v(dX_1/dt),$$

де X_0 – концентрація пар води в газі; X_1 – концентрація парів води в кислоті; V_v – об'єм води в апараті; ρ_v – густина води.

Таким чином, було сформовано повну систему рівнянь, яка дозволить дослідити поведінку об'єкта і синтезувати систему керування.

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИПАЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ

Жученко О. А., Коротинський А. П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ihfantkor@gmail.com

Починаючи з 50-тих років минулого століття схема технологічного процесу випалювання вуглецевих виробів майже не змінилася та являє собою нагрівання заготовок від початкової температури до кінцевої за встановленим графіком і зі швидкістю, що визначається групою фізико-хімічних властивостей виробів, які необхідно отримати. Але, незважаючи на численні спроби автоматизувати роботу багатокамерних кільцевих печей випалювання, до останнього часу так і не було реалізовано ефективну автоматичну систему керування зазначеного процесу. Відтак аналіз існуючих систем є важливим етапом, що передуює розробці новітньої системи керування цим процесом.

Авторами роботи [1] наведено обґрунтування використання системи імпульсного спалювання палива для багатокамерних печей випалювання, що призводить до зменшення перевитрат палива на 12...15 %.

Недоліком даної системи є схема подачі повітря на пальники для забезпечення необхідної інжекції повітря. Запропонований спосіб передбачає подачу повітря під надлишковим тиском для реалізації його інжекції, що можлива лише у разі додавання в конструкцію печі насосів або ж його подачі повітря на пальники з атмосфери. Перший випадок передбачає модифікацію печі, використання другого способу не враховує зменшення температури факела через додавання повітря з атмосфери.

У патенті [2] описано метод керування печами випалювання на базі показника випалювання. Ідея базується на тому факті, що температура заготовки, а отже і якість, відповідає сумарному тепловому потоку протягом усього часу випалювання. А отже, однакову якість заготовки може бути досягнуто з використанням різних температурних режимів доки загальний тепловий потік залишається незмінним.

Недоліком даного методу є його неуніверсальність при випалюванні продукції різних розмірів. Зрозуміло, що для кожного унікального розміру продукції (або варіації їх завантаження) необхідно спочатку визначити відповідний унікальний індекс випалювання, і тільки після цього можливе керування даним процесом за запропонованим алгоритмом.

Ефективність і точність регулювання температури традиційної закритої печі досить низька. Для розв'язання цієї задачі в роботі [3] представлено систему регулювання температури в печі, що використовує PID-каскадний алгоритм керування на основі оцінки по'передньої компенсації.

Ідея каскадного керування полягає в тому, що додавання нового об'єкта керування – температури стінки печі, заснованого на вихідному об'єкті керування – температури печі в камері, могло б завчасно відповідати на недоліки

при зміні керувальної величини; а відтак попередній аналіз зміни температури стінок печі може поліпшити якість всієї системи керування.

Використання даного алгоритму у розробці системи керування багатокамерною піччю випалювання має ряд переваг, проте через інерційність об'єкта навіть очікування зміни температури стінки печі на деяких ключових етапах займає досить значний час. Відтак некоректний керувальний вплив призведе до нерационального використання тих чи інших ресурсів.

У роботі [4] наведено стратегію оптимального керування тепловим об'єктом, яка формується з вимог максимальної відповідності температури випалювання заданому часовому графіку випалювання з одночасним забезпеченням відсутності перерегулювання. Ця задача розв'язувалась шляхом синтезу та порівняльного аналізу систем за критерієм мінімуму собівартості на базі оптимального ПД-регулятора. Автором була запропонована можливість поліпшення якості керування температурним режимом процесу випалювання шляхом синтезу системи керування із застосуванням нейромережевого прогнозувального контролера. В результаті синтезу й імітаційного моделювання систем автоматичного регулювання встановлено, що необхідна якість регулювання температурним режимом забезпечується як оптимальним ПД-регулятором, так і нейромережевим прогнозувальним контролером. Автором роботи зазначено, що в усьому діапазоні регулювання витрати газу автоматично підтримується оптимальне співвідношення газ – повітря для газоповітряної суміші. Оскільки температура газового середовища камери печі залежить не тільки від співвідношення газоповітряної суміші, а й від температури її складових, то – за умов подачі з камери повітря, що перебуває на охолодженні, а відтак його попереднього підігрівання – умова відсутності перерегулювання у стратегії оптимального керування повністю не забезпечена.

У результаті аналізу наявних систем керування виявлено, що натеper більшість систем керування мають низку важливих недоліків, вирішення яких дозволить отримати більш ефективну систему керування процесом випалювання вуглецевих виробів.

1. Малахов С. А. Совершенствование технологии обжига углеграфитовой продукции в многокамерных печах обжига закрытого типа: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук; спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / Малахов Сергей Александрович; Сев.-Кавк. горно-метал. ин-т (государственный технологический университет). – Владикавказ, 2004 – 32 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 6–27.

2. Method for controlling a carbon baking furnace [Текст]: United States Patent, Patent No.: US 6,436,335 B1/ Wolfgang Leisenberg, Bad Nauheim; Assignee: Innovatherm Prof. Dr. Leisenberg; GmbH & Co. KG, Butzbach ; Appl. No.: 09/547,492; Filed: Apr. 12, 2000.

3. Ke X. The Temperature Control System of Continuous Diffusion Furnace [Text] X. Ke, Z. Luo, Y. Zhu, Y. Liu // In Proceedings of the 13th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics. – 2016. – Vol. 1, – P. 227-233. – ISBN 978-989-758-198-4.

4. Сошкин Г. С. Исследование процесса обжига электродной продукции в многокамерных печах и разработка системы управления технологическим режимом: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук; спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» / Сошкин Григорий Станиславович; Сев.-Кавк. горно-метал. ин-т (государственный технологический университет). – Владикавказ, 2012. – 24 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 17–18.

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА З ВИВЧЕННЯ ТА НАЛАГОДЖЕННЯ ПЛК ДЛЯ ЗАСТОСУВАНЬ У ХІМІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Карпюк Д. М, Данькевич А. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, remplast@mail.ua

Виготовлення стенду, насамперед, має на меті навчити програмувати ПЛК (програмовані логічні контролери) та коригувати написану програму.

Специфіка автоматизації хімічного виробництва передбачає наявність системи керування, що включає датчики зворотного зв'язку і органи керування. Тому для вивчення принципів роботи систем керування на ПЛК і його практичного застосування в хімічному виробництві є необхідною й актуальною розробка навчального стенду. Сучасні програмовані логічні контролери різних виробників (Мікрол, МикРа, Omron, Unitronics, Mitsubishi, Allen Bradley тощо) програмуються відповідно до стандарту Міжнародної електротехнічної комісії, тому створення стенда сприятиме вивченню мови програмування ПЛК, а в подальшому – застосуванню отриманих навичок у системі керування виробництва.

Створення стенду для дослідження динамічних характеристик виробництва використовує мову програмування *Ladder Diagram, FBD*. На рис. 1 зображено загальну конфігурацію стенда.

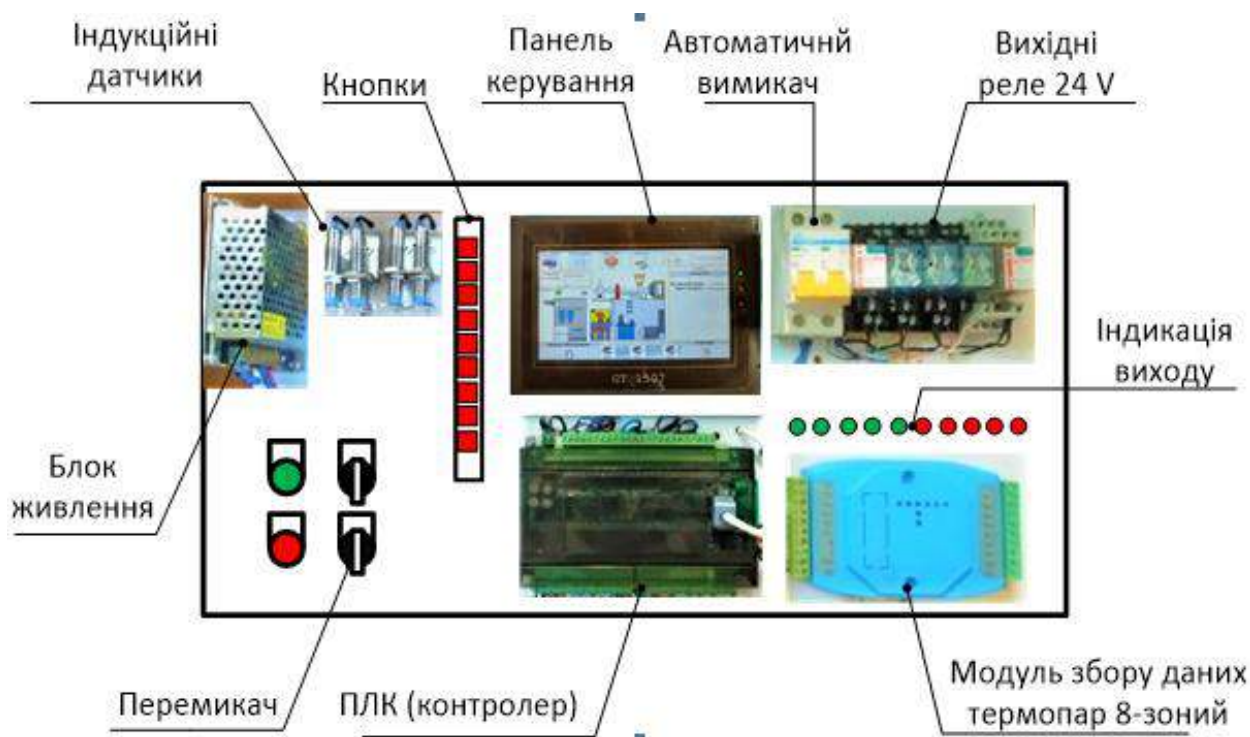


Рис. 1. Загальна конфігурація стенда

Стенд отримує живлення від мережі змінного струму, який через перетворювач вхідного сигналу подається до системи керування. В консольній панелі задається час затримки вмикання виходів. Також передбачено ручний режим

введення в дію органів виконання з індикацією входів-виходів, що дуже зручно для навчання персоналу. На рисунку 2 зображено електричну принципову схему станда.

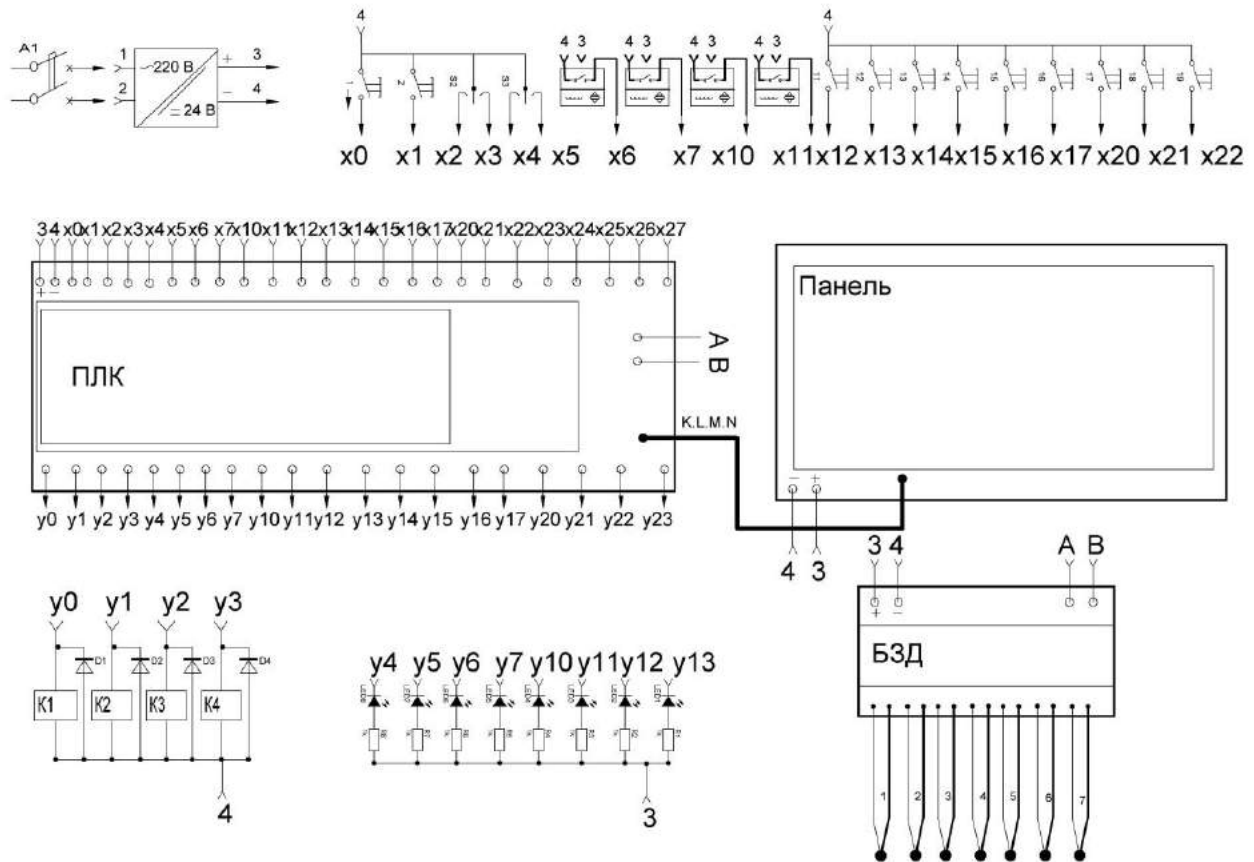


Рис. 2. Електрична принципова схема станда:
БЗД – блок збору даних

Керування температури контролером здійснюється програмно за допомогою блока збору даних від термопар. Процедура виконується за допомогою протоколу RS-485(*Modbus*). Модуль збору даних температури застосовується для опитування датчиків температури (термопар), модуль має можливість передавати данні в мережу RS-485. Кожний канал датчиків температури може опитуватися по одному з протоколів передачі даних: *Modbus RTU*, *Modbus ASCII*.

В подальших дослідженнях планується підключити стенд до екструзійної установки для синтезу системи керування температурним полем на основі ПЛК.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗМІШУВАЧА В ПРОЦЕСІ КАРАМЕЛІЗАЦІЇ

Кучера М. М., Данькевич А. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, mariia.kuchera@gmail.com

Хімічний процес карамелізації досить важливий у виробництві харчової промисловості та застосовується у виготовленні багатьох продуктів, де задіяно перетворення цукрів у різноманітні полімерні та мономерні компоненти. Попри це, карамелізація – тип неферментативної реакції потемніння (браунінг), у процесі якої відбувається виділення летких хімічних речовин, що створюють характерний карамельний смак.

Для отримання карамельної маси широко використовується двоступенева технологічна схема, що включає стадії приготування й уварювання сиропу. Вхідною речовиною технологічного процесу є очищений від феродомішок цукор-пісок. У зазначеному процесі має виконуватись декілька завдань: відрегулювати подачу певної кількості вхідних речовин, щоб отримати необхідну концентрацію вихідного продукту, а також забезпечити відповідний рівень його якості.

Один з основних апаратів технологічного процесу є змішувач – апарат, в якому відбувається перемішування компонентів і розчинення цукру-піску. Для більш інтенсивного розчинення компонентів безпосередньо у змішувач вводять пару постійного тиску. За безперервного перемішування сироп прогрівається до температури 130...150 °С. Приготована таким чином маса надходить на подальше уварювання. З огляду на перераховані вище завдання доцільно буде створити двоконтурну систему керування з компенсацією збурень і дії перехресних зв'язків процесу виготовлення карамелі.

Отримати дані про поведінку об'єкта можливо двома способами: безпосередньо проводити досліди на об'єкті або шляхом аналітичного дослідження математичної моделі змішувача. Проведення активних експериментів на апараті веде до неефективного, з точки зору енерговитрат, режиму виробництва, і утворення великої кількості браку, що призводить до зменшення прибутковості виробництва, а інколи є просто неможливим. Тому в подальших дослідженнях необхідно розробити математичну модель процесу карамелізації з урахуванням зміни витрат і хімічного складу продукту, дослідити динамічні властивості змішувача, а також синтезувати систему керування апаратом для підтримання оптимальних технологічних параметрів, що є однією з основних технологічних задач.

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МОДЕЛЮВАННІ ХІМІЧНОГО РЕАКТОРА

Кубах С. О., Оніщенко В. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, seregakubakh@gmail.com

Використовуючи методи на основі штучного інтелекту, в реакторі можуть бути також враховані якісні зміни в хімічних процесах, такі як дезактивація каталізатора в реакторі, тоді як ці типи змінних величин неможливо реалізувати в механістичних моделях. Найбільш доцільними методами штучного інтелекту для моделювання процесів у реакторі є:

- штучна нейронна мережа;
- нечітка логіка, яка іноді гібридизується з еволюційними алгоритмами.

Крім того, для реалізації штучних нейронних мереж і нечіткої логіки в реакторі та синтезу гібридної схеми керування, яка фактично є нечіткою системою виводу, реалізованою в рамках адаптивних мереж, і також застосовувалася в цілях моделювання системи пуску реактора. Першим етапом розробки моделі на основі штучного інтелекту є визначення вхідних/вихідних змінних системи, які повинні бути змодельовані. Після цього, згідно з експериментальними даними або знаннями про керування як явище, розробляється модель.

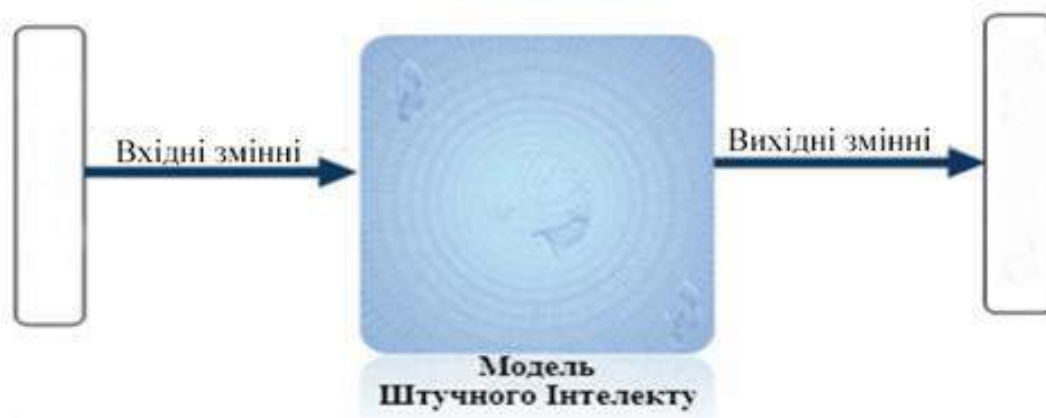


Схема моделі штучного інтелекту

Параметри, що характеризують модель на основі штучного інтелекту, таких як кількість нечітких множин (при використанні нечіткої логіки), число і функції передачі прихованих шарів (при використанні методу штучної нейронної мережі), залежать від складності та нелінійності системи й типів змінних, що впливають на процеси в реакторі. Серед типів штучних нейронних мережевих структур є багат шаровий перцептрон (БШП), що має пряму схему подачі даних і вважається найбільш корисною топологією (компонування, конфігурація, структура) для моделювання системи. Понад те, модель рекурентної штучної нейронної мережі є відображенням минулих вхідних та вихідних змінних стосовно майбутніх вихідних

моделей, які можуть бути використані для динамічних процесів. У підході до нечіткої моделі існують два типи:

- алгоритм Мамдані;
- алгоритм Такагі Сугено (ТС).

Всі невизначеності та модельні ускладнення розглядаються в лінгвістичних виразах у вигляді правил «Якщо – тоді», заснованих на теорії нечіткої логіки.

Алгоритм Мамдані нечіткого логічного виводу відрізняється тим, що інформація та правила, які в ньому представлені, мають декілька переваг над підходом Такагі Сугено, стосовно моделювання хімічних процесів.

По-перше, якісний досвід і знання фахівців, які займаються цим процесом, включені до числа розробників моделі.

По-друге, для побудови нечіткої моделі, немає потреби в інформації про алгоритм Мамдані.

Отже, нечітка модель Мамдані більш інтуїтивна, прозора та розбірлива.

А кожна модель Такагі Сугено, навпаки, є локальним апроксиматором, та її передбачуваність є дійсною для конкретного робочого стану процесу, для якого модель була розроблена та випробувана. Відповідно, його модель навряд чи може бути застосована для аналізу стану та поведінки процесу і не може бути збільшена або зменшена, тому є менш корисною для промислової практики. Незважаючи на можливості алгоритму Мамдані, варто підкреслити, що його нечітка модель марніє та страждає від великої кількості правил у роботі з процесами з великою кількістю змінних.

Генетичний алгоритм (ГА) може бути використаний для оптимізації продуктивності нечіткої моделі. Роль генетичного алгоритму визнається як оцінка оптимальних параметрів, наприклад, таких, як параметри функцій масштабування та всесвітнього обґрунтування або функцій членства (ФЧ).

ВИЗНАЧЕННЯ ДАТЧИКІВ ВОЛОГОСТІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИНТЕТИЧНИХ МИЙНИХ ЗАСОБІВ

Мугир О. П., Ярощук Л. Д.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, guland97@gmail.com

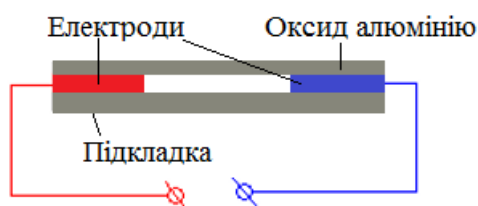
Проблема контролю вологості у розробці систем автоматизації полягає в тому, що значення відносної вологості складно перетворити в електричний сигнал. Тому актуальною є проблема розроблення і дослідження різноманітних датчиків вологості.

Метою дослідження є огляд відомих принципів перетворення значення вологості у електричний чи пневматичний сигнали, аналіз наявних відповідних вимірювальних пристроїв на ринку технічних засобів автоматизації та визначення такого вимірювача, який буде відповідати умовам виробництва синтетичних мийних засобів.

У напрямку задачі дослідження з'ясовано, що за принципом роботи датчики вологості поділяють на такі категорії.

Ємнісні – у найпростішому випадку це конденсатори, міжпластиний простір в яких заповнює повітря, що відіграє роль діелектрика (відомо, що діелектрична проникність повітря безпосередньо пов'язана з вологістю). Перевагами вимірювачів із таким принципом дії є компактність, слабка залежність результатів вимірювань від зовнішньої температури, лінійність шкали в діапазоні 0...80 % відносної вологості, слабкий ефект гістерезису, а недоліком – вплив зовнішніх збурень на результати вимірювання.

Резистивні датчики містять два електроди (див. рисунок), які розміщують на підкладці, зверху на них лежить шар матеріалу, що характеризується досить малим опором, який змінюється в залежності від вологості [1].



Резистивний датчик вологості

Резистивні та ємнісні датчики вологості відрізняються здатністю легкого інтегрування у вимірювальну систему будь-якого типу завдяки вбудованим перетворювачам, які формують уніфіковані вихідні сигнали (4...20 мА, 0...10 В, RS485), та наявності пилового фільтра у чутливого елемента. Датчики, які мають вихід RS485 зазвичай ще оснащені вбудованим датчиком температури.

Оптичні датчики характеризується найвищою точністю перетворення, яку не можна отримати за допомогою інших вимірювачів, а також відсутністю гістерезису. В основу їхнього принципу дії покладено явище, що пов'язане з поняттям «точки роси»: з досягненням температури точки роси газоподібна та рі-

дка фази перебувають в умовах термодинамічної рівноваги. Однак із зазначених вище вологомірів оптичні мають найвищу вартість, витрачають відносно великий обсяг електроенергії та потребують постійного догляду (дзеркало приладу має бути чистим).

Принцип роботи електронних датчиків заснований на зміні концентрації електроліту, що покриває собою будь-який електроізоляційний матеріал. Для максимальної зручності такий гігрометр часто додатково обладнують термометром. Такий пристрій має високу точність, він здатний вимірювати вологість, незалежно від температури довкілля.

ПрАТ «ТЕРА» (Україна, м.Чернігів) є виробником широкого асортименту датчиків температури і вологості, що застосовуються для автоматизації систем в технологічних процесах хімічної промисловості.

Аналіз зазначених принципів роботи вологомірів дозволяє зробити висновок про те, що саме електронний принцип вимірювання можна визнати найбільш доцільним у вимірюванні вологості для автоматизації технологічного процесу виробництва синтетичних мийних засобів. Він має високу точність, його показання не залежать від температури довкілля, що забезпечить надійну роботу датчика в сушарці у достатньо складних температурних умовах [2].

1. Повний А. Датчики влажности – как устроены и работают / Повний А. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/automation/1083-datchiki-vlazhnosti-kak-ustroeny-i-rabotayut.html>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова рос.

2. Лекае В. М. Процессы и аппараты химической промышленности [Текст] : учебник для сред. проф.-техн. училищ / В. М. Лекае, А. В. Лекае. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с. – 30000 экз.

СТВОРЕННЯ БАЗИ ЗНАНЬ ДЛЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ НЕПЕРЕРВНОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОЇ СМОЛИ

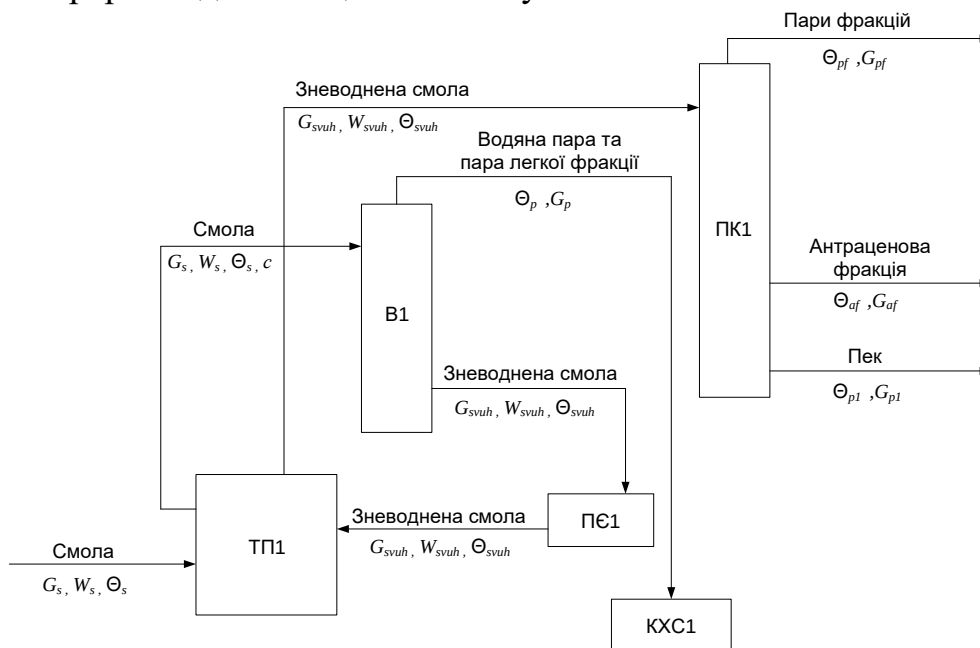
Ярощук Л. Д., Буйбарова Є. А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, liza.buybarova@gmail.com

У неперервній дистиляції смоли головним потоком, який визначає продуктивність всього процесу, є смола. Характеристики всіх інших матеріальних та енергетичних потоків підпорядковані характеристикам потоку смоли, який надходить на дистиляцію. Неперервність технологічного процесу та взаємозалежність роботи всіх апаратів обумовлюють можливість поширення аварійних ситуацій, які відбуваються в одному апараті, на всю технологічну систему та вимагають врахування цієї проблеми у проектуванні системи автоматизації*. Порушення нормального функціонування таких апаратів як трубчатa піч, випарник та пекова колона призведе до значних порушень в технологічній схемі, які спричинять довготривалу зупинку та фінансові збитки. Діагностувальна експертна система може скоротити час пошуку причин аварій та запропонувати рекомендації щодо їх усунення.

Задачею дослідження є створення бази знань для експертної системи керування зазначеним процесом.

Для того, щоб процес відбувався коректно, потрібно контролювати кожний його етап. На рисунку зображено фрагмент структурно-параметричної схеми процесу неперервної дистиляції кам'яновугільної смоли.



Параметрична схема процесу неперервної дистиляції кам'яновугільної смоли (фрагмент):

ТП1 – трубчатa піч; *B1* – випарник; *ПЄ1* – проміжна ємність; *ПК1* – пекова колона;

КХС1 – комбінований конденсатор-холодильник-сепаратор

* Вессельман С. Г. Контроль и регулирование тепловых процессов на коксохимических заводах [Текст] / С. Г. Вессельман, Л. В. Дробышев. – Харьков: Metallurgizdat., 1962. – 378 с. – Библиогр.: с. 102. – 3200 экз.

На схемі введено такі позначення: G_s – витрата смоли; W_s – вологість смоли; Θ_s – температура смоли; Θ_p – температура пари; G_p – витрата пари; Θ_{pf} – температура пари фракцій; G_{pf} – витрата пари фракцій; Θ_{af} – температура антраценової фракції; G_{af} – витрата антраценової фракції; Θ_{p1} – температура пеку; G_{p1} – витрата пеку; G_{svuh} – витрата зневодненої смоли; W_{svuh} – вологість зневодненої смоли; Θ_{svuh} – температура зневодненої смоли.

Для створення бази знань потрібно дослідити як можна більшу кількість властивостей кожного матеріального потоку технологічної системи, з'ясувати можливість та способи їх вимірювання, описати, які порушення можуть виникнути у разі недотримання вимог до режимних параметрів та властивостей потоків, вивчити статистичні дані чи експертну інформацію про ймовірнісні зв'язки між порушеннями. На рисунку вказано ті змінні, які будуть досліджені та внесені в таблицю з вищезазначеною інформацією.

Основними показниками, що визначають якість кінцевого продукту, є властивості смоли, зокрема ступінь її зневоднення.

Для забезпечення максимального виходу цільових продуктів і мінімальної кількості побічних, а також досягнення високих техніко-економічних показників процесу, потрібно дотримуватись таких технологічних параметрів:

- кам'яновугільна смола має нагрітись не менше, ніж до 130 °С, щоб надалі у випарнику максимально зневоднитись;

- зневоднена смола після випарника має нагрітись в печі не менше, ніж до 360...380 °С, щоб у подальшому відбувся правильний поділ на фракції.

Контроль процесу дистиляції включатиме в себе контроль витрати смоли, температури нагрівання, а також контроль якості отриманих фракцій та пеку.

На основі проведених досліджень буде отримана інформація, яка всебічно характеризує процеси виробництва з точки зору появи порушень технологічного регламенту. Буде визначений зв'язок між порушеннями, а для початкових аварійних ситуацій (так званих «першопричин») будуть розроблені заходи щодо їх усунення.

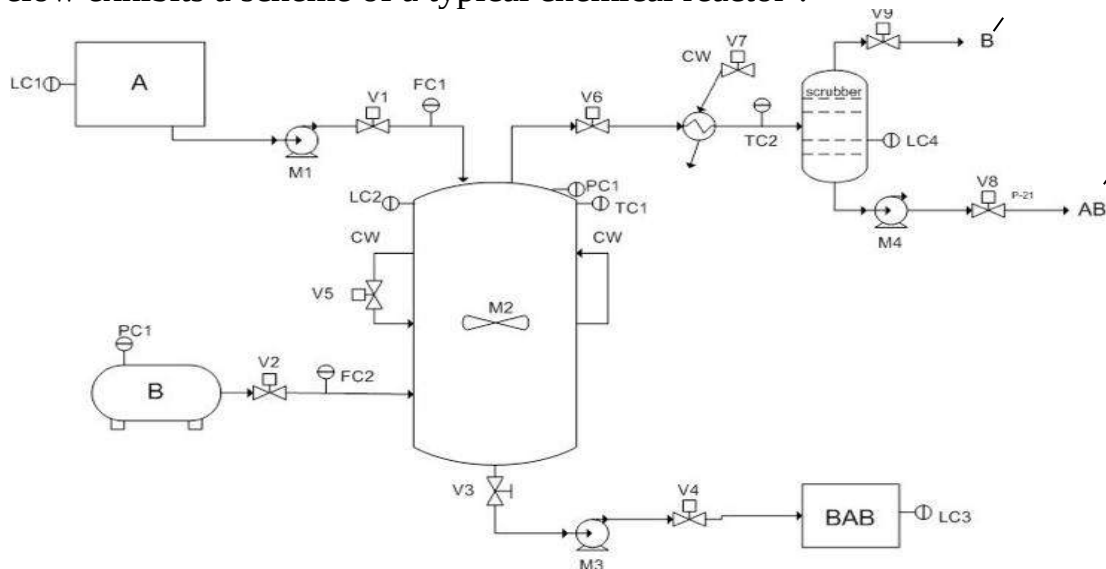
CHEMICAL REACTOR CONTROL ALGORITHM

Abisoye F. E., Cheropkin Y. S.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, fiyinabisoye@gmail.com

Most times in Chemical Engineering, reactors are vessel moulded structures or containers designed to contain chemical reaction processes and there are aswell referred to as the heart of a chemical process.

In the chemical industry, computer programs are designed to simulate the conduct of a chemical reaction in an industrial chemical reactor. These programs are sophisticated to detect changes in temperature, concentration profiles of the reaction as a function of time, and even to color changes. Simulations of the reactions in a chemical reactor are mostly governed by the Dirac delta functions, 1st and 2nd order differential e.t.c. Below exhibits a scheme of a typical chemical reactor*.



Scheme of a typical chemical reactor: *A* – Storage tank containing Phenyl-ethanone compound; *B* – Reboiler containing Trifluoroperacetic Acid; *V1* – *V9* are not only valves, but valves with diaphragm actuators; *CW* – cooling water mounted upon valves *V5* & *V7* for cooling. Also referred to as condenser; *FC* – Flow Controllers are for flow measurement and control; *PC* – Pressure Controllers are for controlling Pressure; *LC* – Level Controllers; *X_A* – Input of Amount of *A*; *Y_B* – Input of Amount of *B*; *L_L* – minimum low operational level (5 cm); *L₁* – level of input liquid *X_A* (Phenyl-ethanone); *L₂* – level of input Liquid *y_B* (Peroxy-carboxylic acid); *L_{ag}* – minimum operational level of CSTR; *P₁* – pressure input level (0 – 1500 H/m²); *P₂* – minimum operational level of Pressure (150 H/m²); *L₄* – level controller of reflux drum; *L_{4min}* – minimum level in volume i of reflux product been stored in drum; *T₁* – feed control temperature; *T_H* – highest possible temperature (917 °C); *T₂* – product control temperature; *T_L* – lowest operational level temperature (0 °C); *F₂* – flow controller

* Woolf P. Chemical Process Dynamics and Controls [Text]: electronic textbook is a student-contributed open-source text covering the materials used at Michigan in our senior level controls course / P. Woolf. – University of Michigan, USA, 2009. – 1400 p.

The aim of the control system that is being developed is to maintain optimal temperature, level and pressure in the technological objects. Performing these tasks will ensure that the reaction proceeds in the reactor will pass in the best way possible.

The initial conditions of the control system are:

- equal means within $\pm 0,05\%$ of the value being held equal;
- Initialize: this is used to set all control devices to the desired position “zero”
 {A} Turn off all valves;
 {B} Shut off all valves.

The following control system operation algorithm was developed. If the starting temperature $T_1 > T_{\max}$, (where $T_{\max}$ or T_{High} is $400\text{ }^{\circ}\text{C}$) in which the reactor was designed to start its operation. Below it the whole control process won't begin. Hence the digital or analog input system heats up the mechanism to a temperature greater than $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. When initialized T_1 at $195\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pressure begins to build up in the system; then valves with actuators on special locations of the systems (V6, V9, and V1) are opened so that the system does not build up pressure within containing vessel.

If $L_1 > L_L$, then turn on M1 and liquid {A} fills the tank. At a stage when $L_2 < L_{\text{ag}}$, then leave the process until $L_2 \geq L_{\text{ag}}$, then turn on M2 to start the CSTR (continuous stirred tank reactor). Under continuous stirring L_1 tend to increase in volume, due to the conventional mixes in reacting substances. Hence when $L_1 = 0$ turn off V_1 , immediately shut off M_1 to stop the flow of reacting substance {A}. Furthermore open V_5 and V_7 . Opening up the valves allows the reactor to cool off simultaneously. Cooling to vent off the heat is an important process implored in the process industry.

If $P_1 \geq P_L$, then open valve V_2 {fill with B}. With time, {B} flows directly into the main reactor tank. {A} and {B} continually goes through mixing processes. Within the time frame of 120 min and continuous heat under reflux. $L_4 \geq 105\text{ cm}$, valve V_8 is opened and in 60 sec, motor M_4 is turned on and product {AB'} is released. Once $L_2 = 0$, then shut off motor M_2 , since there are very less content in its tank. This is to prevent the motor from running dry.

However, if $L_4 < 5\text{ cm}$ need to close valve V_8 to stop the flow of {AB'} and overworking of the motor M_4 since all product {AB'} has been finally evacuated. Nevertheless, a valve V_5 was mounted upon the chemical reactor to vent of heat of the reactor and if noticed that $T_1 < T_H$ (where T_H is the highest possible temperature $900\text{ }^{\circ}\text{C}$). Also if $T_2 < T_H$ opening V_5 is as well used to cool the upper product steam. And if $T_1 < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ then close valve V_5 to stop cooling of the reactor

In conclusion, if $F_2 = 0$, then turn off valve V_2 to stop the flow of B (Peroxy-carboxylic Acid). Close V_8 , M_4 , leave V_6 , V_9 , open (shut down the whole process but allow it to vent). Then pump out product {BAB'} (3° Esters) after continuous heat under reflex of the (1° and 2° Esters).

In case of an emergency, needed to be done are the following actions: turn off all valves except V_5 , V_7 , V_9 and V_6 ; shut off all motors except M_2 {valve M_2 depicts the CSTR (continuous stirred tank reactor)}.

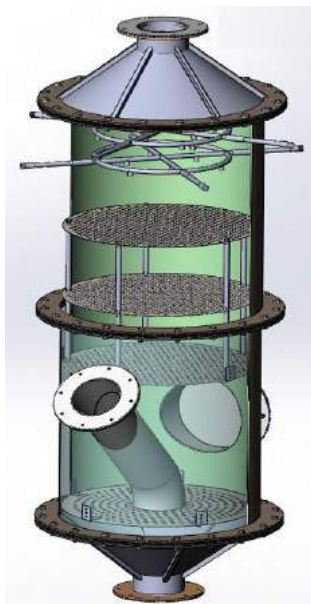
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ НА АВТОМАТИЗАЦІЮ ТАРІЛЧАТОГО СКРУБЕРА ДЛЯ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД ПИЛУ

Бородін В. І., Войтюк Я. П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, yaroslavvoiyuk@gmail.com

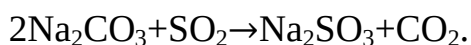
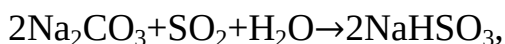
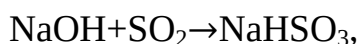
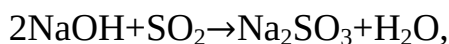
У багатьох процесах хімічного виробництва ми маємо справу з різними газами, які можуть бути не в чистому вигляді, для очищення та вилучення деяких компонентів з газу, використовують скрубери.

Використання тарілчатого скрубера є досить ефективним та актуальним, очищення газу відбувається за абсорбційною технологією. 3d модель тарілчатого скрубера зображено на рисунку.



3d модель тарілчатого скрубера

Скрубер складається з чотирьох основних частин: корпусу, системи зрошення з відцентрованими тангенціальними форсунками та тарілками для утворення піни, пристрою відведення шламу та системи аварійного відключення подачі води. Скрубер працює так: газ, що надходить на очищення, подається похилому газоходу в нижню частину скрубера і піднімається по корпусу вгору. У верхній частині скрубера розташовані три яруси зрошення, що складаються з відцентрових форсунок. Розчин NaOH, який подається під тиском, розпилюється. Утворені краплі розчину падають під дією сили тяжіння назустріч запиленому газу та потрапляють на дірчасті провальні тарілки, на яких утворюється пінний режим, і відбувається взаємодія газу з розчином. Під час контакту розчину NaOH з газом відбуваються наступні реакції:



Відпрацьований розчин і вловлений пил збираються в нижній частині скрубера. Очищений газ відводиться через газоходи, розміщені у верхній частині апарату. Корпус скрубера призначений для організації потоків газу та крапель води. Система зрошення призначена для подачі та розпилення води в корпусі скрубера й організації пінного режиму на тарілках. Пристрій відведення шламу призначений для автоматичного його виведення з корпусу скрубера. Система аварійного відведення води необхідна для відключення подачі води у разі неможливості відведення шламу з корпусу скрубера.

Скрубери такого типу є досить актуальними, оскільки мають невисоку вартість виготовлення, високу ефективність пиловловлення, можливість їх використання в умовах високої температури та підвищеної вологості очищуваних газів, а також у випадках небезпеки самозаймання та вибуху газів.

Перевагою мокрих апаратів є можливість одночасного здійснення очищення газів від зважених часток, вилучення газоподібних домішок і охолодження газів, що очищається*. Як зрошувальна рідина в апаратах мокрого пиловловлювання переважно застосовується вода.

На підставі сказаного можемо визначити основні контури контролю та керування скрубера, що забезпечить високу якість очищеного газу. Це можна зробити за рахунок:

- регулювання витрати води, що подається до системи зрошення;
- контролю температури газів перед подачею на скрубери;
- контролю рівня відпрацьованого розчину в нижній частині скрубера;
- контролю рівня шламу в корпусі скрубера.

Пропоноване рішення дає змогу отримувати повну інформацію про перебіг технологічного процесу та забезпечить протікання процесу очищення газу у скрубери в оптимальних умовах.

* Ветошкин А. Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов [Текст] : Учебное пособие / А. Г. Ветошкин. – 2-е изд. доп. и перераб. – М. : Инфра-Инженерия, 2017. – 316 с. : ил. – Библиогр.: в конце глав. – ISBN 978-5-9729-0128-9.

СТРУКТУРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕКСТРУДЕРОМ З MPC-РЕГУЛЯТОРОМ

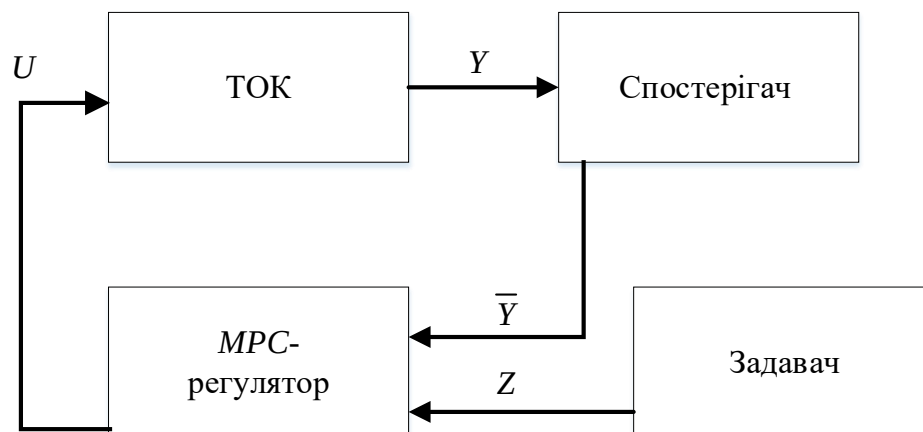
Данькевич А. О., Жученко А. І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, dankevichandrey90@gmail.com

Отримання якісної продукції – основне питання виробництва. Класичні системи керування за відхиленням не є достатньо ефективними для систем керування якістю готової продукції, оскільки, якщо було отримано браковану продукцію, то з цим уже немає змоги нічого зробити.

Для синтезу систем керування якістю готової продукції необхідно спочатку реалізувати спостерігача, що за даними технологічного процесу зможе відновити дані про параметри якості готового продукту. Але залишається питання створення системи, яка могла б запобігти утворенню браку ще до його появи. Таку складну технологічну задачу успішно виконують системи з прогнозувальною моделлю (*Model Predictive Control*) або MPC-регулятор.

Структура системи керування екструдером з прогнозувальною моделлю матиме вигляд, зображений на рисунку.



Структурна схема системи керування екструдером з прогнозувальною моделлю:

U – вектор керувань; Y – вектор вихідних змінних ТОК; $\bar{Y}$ – вектор оцінок параметрів якості вихідної продукції; Z – вектор завдань на параметри якості вихідної продукції

В подальших дослідженнях планується дослідити вплив зміни параметрів MPC-регулятора на якість системи керування.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ НЕЙТРАЛІЗАТОРА У ПРОЦЕСІ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ СУЛЬФОХЛОРИДІВ

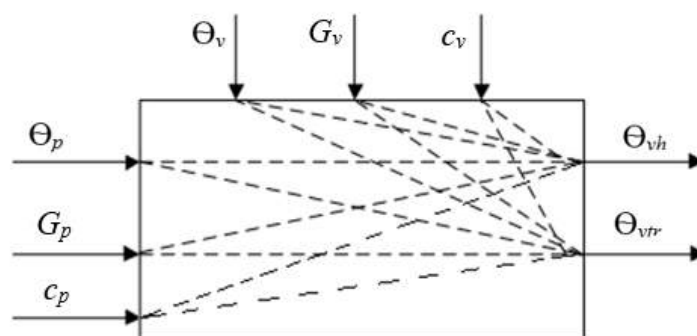
Губар Б. П., Ситніков О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, bogdangubar@gmail.com

Під сучасну пору сульфохлориди широко використовують у виробництві мийних засобів, ліків, фарбників, гербіцидів, еластомерів та ін. Щоб на виході з об'єкта отримати підготовлену суміш для подальшої її переробки, необхідно контролювати вхідні та вихідні параметри, а також параметри усередині апарата, тобто підтримувати технологічний режим у межах регламенту.

Метою роботи є дослідження структурно-параметричної схеми апарата-нейтралізатора в процесі нейтралізації сульфохлоридів, яка враховує витрату та концентрацію вхідних та вихідних матеріалів*.

Сучасні комп'ютерні системи базуються на використанні математичної моделі процесу, першим етапом розроблення якої є побудова параметричної схеми об'єкта керування. Оскільки розглядається задача регулювання температури суміші на виході з нейтралізатора за допомогою витрати сульфохлоридів, то маємо параметричну схему технологічного об'єкта, яка представлена вище.



Параметрична схема нейтралізатора:

Θ_v – температура луку; G_v – витрата луку; c_v – питома теплоємність луку; Θ_p – температура сульфохлориду; G_p – витрата сульфохлориду; c_p – питома теплоємність сульфохлориду; Θ_{vh} – температура суміші; Θ_{vtr} – втрата температури на реакцію

Основним керувальним (вхідним) параметром буде витрата сульфохлориду G_p , а вихідним (керованим) параметром – температура суміші на виході нейтралізатора Θ_{vh} .

На підставі здійсненого аналізу структурно-параметричної схеми нейтралізатора, поставлено задачу на подальші дослідження, метою яких будуть розробка математичної моделі, побудова статичної та динамічної характеристик апарата-нейтралізатора у процесі нейтралізації сульфохлоридів.

* Ковалев В. М. Технология производства синтетических моющих средств [Текст]: Учеб. пособие для ПТУ / В. М. Ковалев, Д. С. Петренко. – М.: «Химия», 1992. – 272 с. : ил. – Библиогр.: с. 264. – ISBN 5-7245-0413-8.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ВИБОРУ РЕЖИМУ ОБРОБКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Кагляк О. Д., Шевченко К. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kaglyak.olexa@gmail.com

Дослідження сучасного лазерного формоутворення листових матеріалів, як правило, проводиться експериментальним шляхом. Однак експериментальна робота займає багато часу, коштів і має обмеження для узагальнення результатів. Тому були зроблені аналітичні моделі для подолання зазначених експериментальних обмежень. Аналітичні моделі були використані для визначення залежності між кутом вигину і параметрами процесу (тобто, формування механізмів).

В даній роботі для аналітичного розрахунку та розробки на його базі програмного забезпечення було використано механізм температурного градієнта (МТГ). Цей механізм є найбільш широко відомим і пояснює принцип теплової деформації.

Аналітична модель для МТГ, запропонована Воллертсеном, використовує виключно енергетичний підхід. Проте, вигин в результаті енергетичного підходу дав дуже високий кут, який лежить на кілька порядків вище виміряного. Підвищення температури нагрітого шару обчислюється [1] як

$$\Delta T = \frac{2AP}{VCl\gamma},$$

де A – коефіцієнт поглинання матеріалом лазерного випромінювання; P – потужність лазерного випромінювання; V – швидкість переміщення лазерного пучка; C – теплоємність; l – коефіцієнт лінійного теплового розширення; t – товщина пластини; γ – питома вага матеріалу.

Величина кута згинання α_β пов'язана з параметрами обробки (P, V), характеристиками матеріалу (α_{th}, A, C, ρ) та товщиною зразка t виразом [1]

$$\alpha_\beta = \frac{4AP\alpha_{th}}{VC\rho t^2},$$

де α_{th} – коефіцієнт теплового розширення.

Для створення програмного забезпечення (ПЗ) і проведення експерименту необхідно було провести певні розрахунки – аналіз необхідних параметрів опромінення. Це висуває певні вимоги щодо даних матеріалу:

- задання граничних умов оброблення;
- розрахунок та отримання результату.

Для розробки ПЗ були вибрані матеріали: залізо 65Г, Сталь 12Х18Н10Т, і проведено експериментальний аналіз. Для розрахунку оптимальних параметрів використаємо теплову задачу нагрівання твердого тіла. У розрахунках будемо використовувати усереднені по всьому температурному інтервалу значення теплофізичних сталей: питома теплоємність, теплопровідність, температуропровідність, питома вага матеріалу.

Розрахуємо необхідний час нагрівання металу у центрі плями до того, як розпочнеться плавлення [2]: $\tau = (\lambda T_{пл} / q_0)^2 (\pi / (4a))$, де λ – теплопровідність; $T_{пл}$ – температура плавлення; q_0 – густина потужності теплового джерела; a – температуропровідність.

Глибина зони термічного впливу z визначається формулою [2]:

$$z = \sqrt{\frac{4at}{\pi}} \left(\frac{T_{\text{пл}} - T_0}{T_{\text{пл}}} \right),$$

де T_0 – початкова температура.

Глибина z пов'язана з радіусом лазерного променя r і швидкістю його переміщення V так [2]:

$$r = \sqrt{\frac{APz}{\pi\lambda(T - T_0)}};$$

$$V = \sqrt{\frac{AP}{\pi\lambda}} \cdot \frac{8a(T - T_0)^{3/2}}{\pi T^2 z^{3/2}},$$

де T – температура нагріву тіла.

Слід враховувати, що вибраний матеріал не буде нагріватися до температури плавлення, він буде нагрітий до граничного значення, меншого за температуру плавлення, а наведені формули взято для знаходження залежності між потужністю лазерного пучка, радіусом пучка та швидкістю переміщення.

Далі, опираючись на отриманні формули, ми можемо розрахувати та рекомендувати як оптимальний один із параметрів устаткування, опираючись на два інші. Наприклад, рекомендувати необхідну швидкість, якщо ми знаємо радіус та потужність лазерного пучка.

Щоб розпочати роботу з програмою і провести розрахунки, нам необхідно перейти за посиланням: <http://ihaiduk.github.io/ssmfsmbllh/demo/> (або – за коротким посиланням: <http://goo.gl/Tzwpft>). Після вибору матеріалу для розрахунку програма автоматично підставить властивості матеріалу до завчасно підготовлених полів вводу даних.

Результатом роботи створеного ПЗ є те, що воно автоматично пропонує варіанти зміни параметрів і демонструє, як від цих параметрів буде залежить зміна кута згинання.

Висновки

1. Розроблене ПЗ дозволить обирати оптимальний режим для формоутворення листових матеріалів лазерним нагріванням із заданою точністю.

2. Використання розробленого програмного забезпечення враховує технічні обмеження обладнання (зокрема, швидкість переміщення, потужність лазерного променя та розмір зони фокусування) та рекомендує поле альтернативних режимів для досягнення бажаного результату.

3. Використання розробленого програмного забезпечення дозволить розширити можливості та сферу застосування технології лазерного формоутворення.

1. Hyung-Chul JUNG. A Study on Laser Forming Processes with Finite Element Analysis [Text]/ Hyung-Chul JUNG. – New Zealand: University of Canterbury Christchurch, 2006. – 336 p. – Bibliogr.: p. 271–279.

2. Ю. М. Климков. Взаимодействие лазерного излучения с веществом [Текст] : учеб. пособ. / Ю. М. Климков, В. С. Майоров, М. В. Хорошев / Внутривузовское издание. – Москва: МИИГАиК, 2014. – 108 с. – Библиогр.: с. 104–105. – 25 экз. (Продаже не подлежит).

КРИТЕРІЙ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКОМ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І ГУДРОНІВ

Білецький К. М., Черьопкін Є. С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, kost111998@gmail.com

Холодильна машина – пристрій, що служить для відведення тепла від охолоджуваного тіла за температури нижчої, аніж температура довкілля. Процеси, що відбуваються в холодильних машинах, є окремим випадком термодинамічних процесів, тобто таких, в яких відбувається послідовна зміна параметрів стану робочої речовини: температури, тиску, питомого об'єму, ентальпії. Холодильні машини працюють за принципом теплового насоса – забирають тепло від охолоджуваного тіла з витратою енергії (механічної, теплової і т. д.) і передають її охолоджувальному середовищу (зазвичай воді або навколишньому повітрю), що має більш високу температуру, ніж охолоджуване тіло. Холодильні машини використовуються для отримання температур від 10 °С до мінус 150 °С. Область нижчих температур відносять до кріогенної техніки. Робота холодильної машини характеризується їх холодопродуктивністю. В основі роботи холодильників лежить холодильний цикл. Простий паровий цикл механічної холодильної машини реалізується за допомогою чотирьох елементів, що утворюють замкнутий холодильний контур: компресора, конденсатора, дросельного вентиля та випарника або охолоджувача.

Задачею системи керування є встановлення вихідного значення температури цільового продукту на задану величину. Також важливою складовою керування є зменшення витрат холодоагента, що знижує собівартість виробництва даного процесу. З метою виконання поставлених вище задач було сформовано критерій якості керування у вигляді

$$I = \sum_{i=0}^n (q(T_3 - T_{\text{гвич},i})^2 + rF_{\text{ввих},i}^2) \rightarrow \min,$$

де q, r – вагові коефіцієнти; T_3 – завдання по температурі; $T_{\text{гвич},i}$ – температура газойлю на виході на кожній ітерації; n – час (ітерації); $F_{\text{ввих},i}$ – витрата води на вході на кожній ітерації.

Наведений вище критерій якості керування буде використаний для дослідження ефективності використання різних алгоритмів налаштування регуляторів. Також планується визначення впливу вагових коефіцієнтів (q, r) на вектор керувальних впливів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ ПЕЧІ ВИПАЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ

Жученко О. А., Коротинський А. П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ihfantkor@gmail.com

Ефективність роботи підприємств металургії, атомної енергетики, хімічної промисловості та інших виробництв, які є основними споживачами вуглецевих виробів, багато в чому залежить від їх властивостей та якості.

Одним із основних напрямків розвитку електродного виробництва є збільшення енергетичної ефективності виробництва [1, 2]. Удосконалення процесу випалювання спрямоване на збільшення випуску високоякісної продукції можливе лише на основі розвитку наукових уявлень про особливості процесу.

Тому аналіз сучасного стану процесу випалювання є надзвичайно важливою задачею для розробки системи керування процесом, що забезпечить конкурентоспроможність виробництва за рахунок забезпечення відповідної якості продукції та зниження її собівартості.

Метою дослідження є визначення впливу зміни витрати природного газу на температурні поля камери, що перебуває на етапі «під вогнем».

Прийнято, що початковий розподіл температур усіх складових камери печі відповідає кінцевому на етапі підігріву димовими газами. Температура повітря та природного газу приймається 300 К. Витрата природного газу приймається 30 та 33 м³/год.

У результаті числового моделювання отримано такі результати: максимальна температура факелу за витрати природного газу 30 м³/год складає 1651 К і 1714 К за витрати 33 м³/год, мінімальна температура холодної зони печі складає 747 К за 30 м³/год та 757 К за 33 м³/год. Відповідно перепад температур по всьому об'єму касети складає 904 К та 957 К. Температура підсклепінчатої зони складає 1425 та 1475 К відповідно. На рис. 1 наведено гістограми мінімальних та максимальних температур на всіх заготовках наприкінці етапу «камера під вогнем».

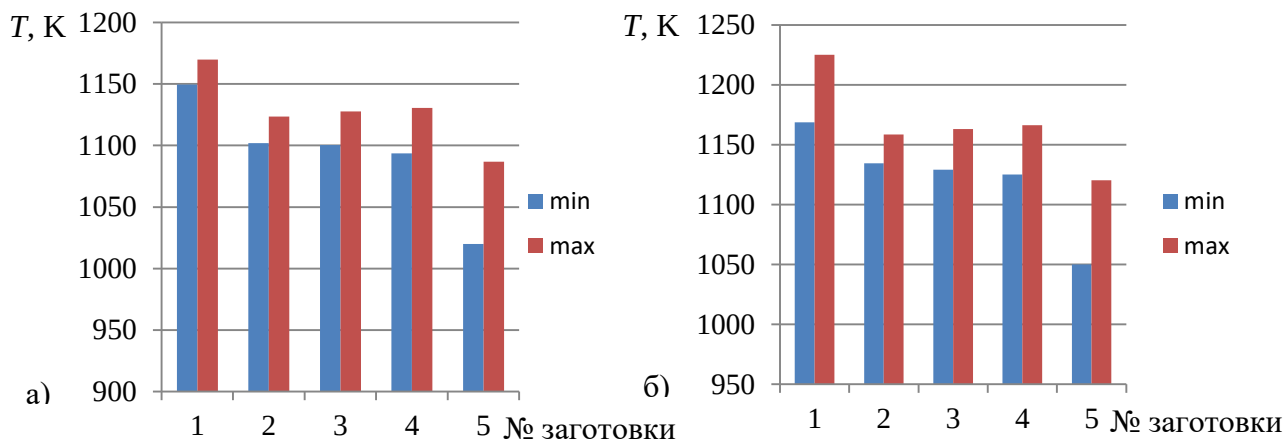


Рис. 1. Гістограми мінімальних та максимальних значень температури по заготовках наприкінці етапу «камера під вогнем» для витрат палива: 30 м³/год (а); 33 м³/год (б)

Зі збільшенням витрати палива збільшується температура факелу та температура продуктів горіння на виході з камери печі, що йду на подальше нагрівання камер димовими газами. Графіки зміни максимальних та мінімальних температур для газового середовища наведено на рисунках 2-3.

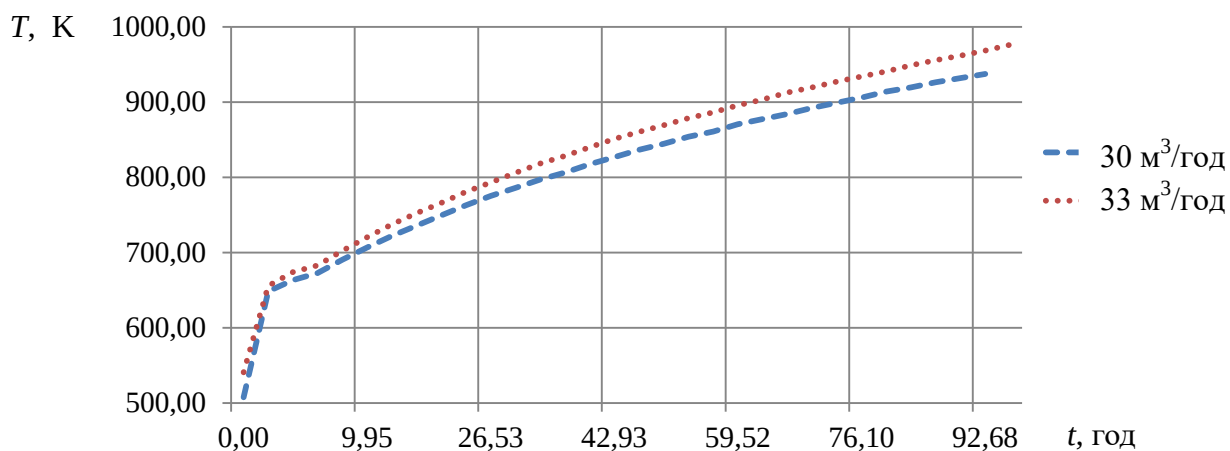


Рис. 2. Графіки зміни мінімальної температури по газовому середовищі етапу «камера під вогнем» при витраті палива $30 \text{ м}^3/\text{год}$ та $33 \text{ м}^3/\text{год}$

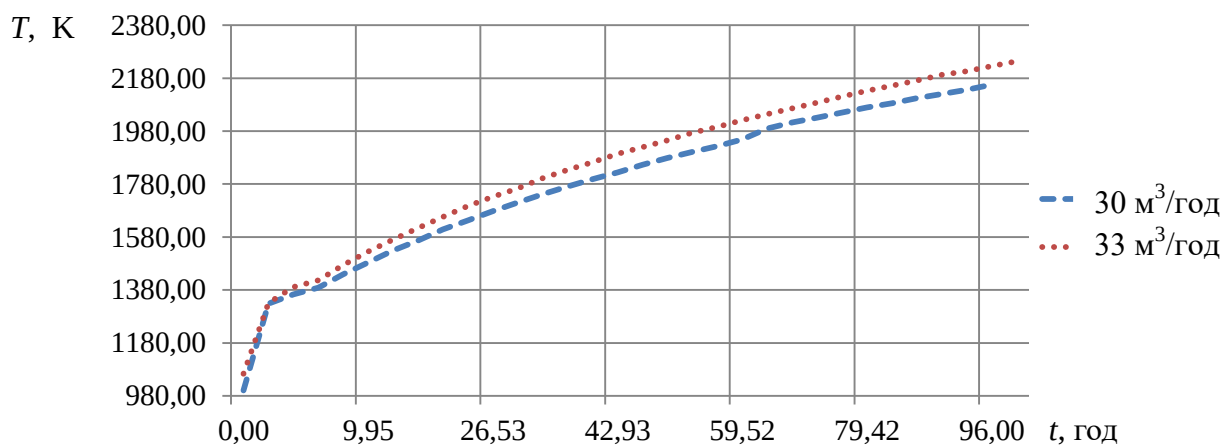


Рис. 3. Графіки зміни максимальної температури по газовому середовищі етапу «камера під вогнем» при витраті палива $30 \text{ м}^3/\text{год}$ та $33 \text{ м}^3/\text{год}$

У результаті дослідження було виявлено залежність зміни температури димових газів від зміни витрати палива: зі збільшенням витрати палива, збільшується температура факела та температура продуктів горіння на виході з камери печі, що йдуть на подальше нагрівання камер димовими газами.

З отриманих результатів зроблено висновок, що зміна витрати палива призводить до значних змін температурних полів, а саме збільшується значення перепаду температур по всьому об'єму камери печі.

1. Сухоруков И. Ф. Температурный график обжига заготовок в многокамерных печах [Текст] / И. Ф. Сухоруков // Цветная металлургия. — 1963. — № 22. — С. 5–12. — Библиогр.: в конце ст.

2. Молокова Т. Л. Исследование обжига углеграфитовых заготовок [Текст] / Т. Л. Молокова, Г. Д. Харлампович, И. Ф. Сухоруков // Химия твердого топлива. — 1977. — № 6. — С. 114–120. — Библиогр.: в конце ст.

ПЕРЕТВОРЮВАЧ КУТА ПОВОРОТУ ВАЛА ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ В УНІФІКОВАНІЙ ПНЕВМАТИЧНИЙ СИГНАЛ

Бондаренко К. О., Сташкевич П. М., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, p.stashkevych@kpi.ua

Для здійснення керувальних впливів на різні об'єкти керування у багатьох технологічних процесах використовуються виконавчі механізми, вихідним параметром яких є кут повороту вала. Сучасна промисловість виробляє досить багато пристроїв, які дозволяють перетворити кут повороту цих механізмів в уніфікований сигнал – електричний або пневматичний. Однак ці пристрої є досить дорогими та складними в обслуговуванні. У зв'язку з цим пропонується простий перетворювач кута повороту, створений на основі точного задатчика тиску П23Д.4 пневматичної системи елементів УСЕППА*, показаний на рисунку.

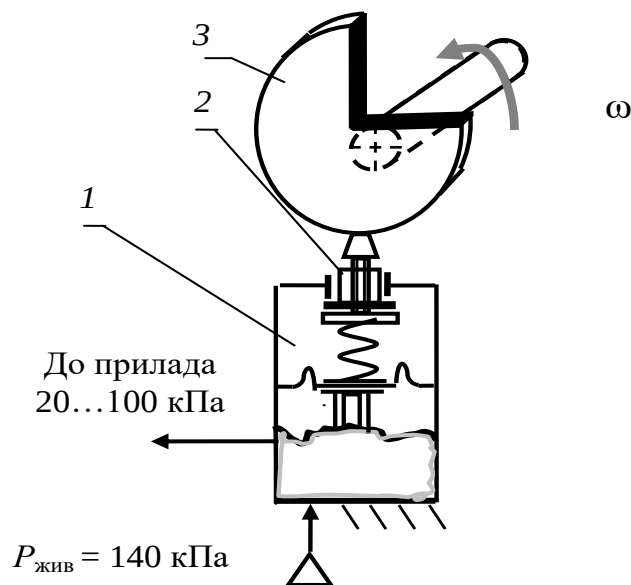


Схема підключення задатчика П23Д.4 як перетворювача кута повороту вала виконавчих механізмів в уніфікований пневматичний сигнал:
1 – задатчик П23Д4; 2 – ковзна втулка; 3 – кулачковий механізм

Цей пристрій дозволяє перетворити кут повороту робочого органа (найчастіше – вала) виконавчих механізмів, які можуть бути задіяні в системах автоматичного регулювання, у стандартний уніфікований пневматичний сигнал.

Його переваги – простота, надійність та невелика собівартість.

Такий перетворювач може бути задіяний і в різних системах динамічної компенсації з реверсивним двигуном (наприклад, у вимірювальних приладах серії «КС» або «Диск-250» із вбудованим пневматичним регулятором), в яких кут повороту вихідного вала згаданого електропривода, по суті, є мірою зміни вимірюваного чи регульованого параметра.

* Мордасов М. М. Пневматические элементы и узлы в устройствах контроля состава и свойств веществ [Текст] : учеб. пособие / М. М. Мордасов, Д. М. Мордасов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – 88 с. : ил. – Библиогр.: с. 69. – ISBN 5-8265-0073-5.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ДИХЛОРЕТАНУ З ХЛОРУ ТА ЕТИЛЕНУ

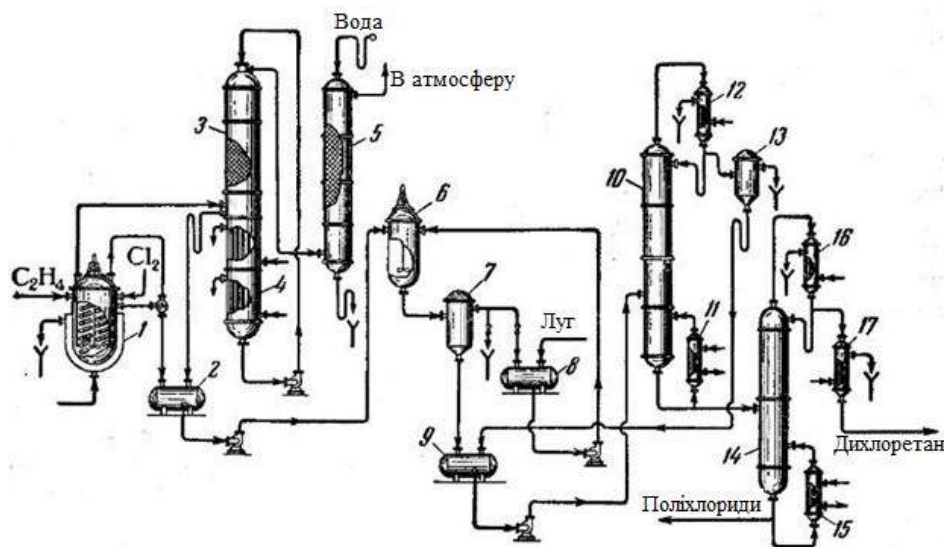
Ніколаєв Д. Ю., Ситніков О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, dmitriy.y.nikolaev@gmail.com

Дихлоретан – це безбарвна летка рідина з специфічним запахом. З водою утворює азеотопну суміш. Дихлоретан погано загоряється, колір горіння зеленуватий, під час горіння виділяється хлористий водень*. Пари дихлоретану з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші. Дихлоретан широко використовується як розчинник у різних сферах виробництва: для розчинення поліхлорвінілової смоли, екстрагування жирів, знежирення вовни, хутра, поверхні металевих виробів.

Необхідно дослідити технологічний процес виготовлення дихлоретану та визначити основні контури керування.

Дихлоретан можна одержувати з етилену декількома способами в результаті взаємодії: хлору та етилену, етилену та хлору за підвищених температур, хлористого водню, етилену та кисню повітря над мідним каталізатором, пропусканням етилену через рідкий хлор.



Технологічна схема виробництва дихлоретану: 1 – хлоратор; 2 – збірник дихлоретану-сирцю; 3 – конденсатор змішування; 4 – холодильник; 5 – скруббер; 6 – нейтралізатор; 7, 13 – роздільник; 8 – збірник; 9 – збірник нейтралізованого дихлоретану; 10, 14 – ректифікаційні колони; 11, 15 – кип'ятильники; 12, 16 – дефлегматори; 17 – холодильник

Основним апаратом технологічного процесу є хлоратор. Необхідно розробити систему керування відведенням холодної води на виході з хлоратора. Вхідним параметром є витрата газової суміші, а вихідним – об'єм хлорної води.

В результаті досліджень проаналізовано технологічну схему виробництва дихлоретану та визначено основний апарат і параметри, що підлягають контролю.

* Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза [Текст] / И. И. Юкельсон. – М.: Химия, 1968 г. – с. 848. – Библиогр.: с. 96–98. –16000 экз.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВИХІДНИХ ГАЗІВ ПРОЦЕСУ СУЛЬФОХЛОРУВАННЯ

Гошко В. О., Ярощук Л. Д.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, smokdacave@gmail.com

Сульфохлориди використовують у виробництві мийних засобів, іонообмінних смол, еластомерів, лікарських засобів, барвників, інсектицидів і гербицидів. Екологічна безпека та використання відходів в подальшому виробництві є важливими факторами як для економічного, так і для ергономічного розвитку виробництва. Особливим місцем технології сульфохлорування є стадія утилізації та подальшого використання токсичних відхідних газів, які виходять з сульфохлоратора.

Метою дослідження є врахування в системі автоматизації виробництва сульфохлоридів задач його безпечності для довкілля та подальшого використання відходів.

Хіміко-технологічна система працює наступним чином. Відпрацьовані гази з сульфохлоратора виводять на абсорбцію в ігуритовий холодильник, який зрошується водою. Отриману в цьому процесі 27-відсоткову технічну хлороводневу кислоту збирають в ємності. Непоглинені в результаті абсорбції гази подають на остаточне очищення в скрубери*. Під час абсорбції та обробки у скрубери токсичні гази переходять з продукту у луги, а частково – у повітря робочої зони. Для розв'язання поставленої задачі було вирішено створити контур регулювання витрати води в ігуритовий холодильник в залежності від концентрації хлору в газі на виході з нього. Аналогічно відбувається регулювання подачі лугів в скрубери. Для підвищення надійності необхідно, щоб технічні засоби автоматизації були стійкими до їдких речовин. Також для контролю повітря робочої зони на виробництві необхідно здійснювати вентиляцію.

Система автоматизації в напрямку поставленої задачі має забезпечити: дотримання вимог до властивостей сульфохлоридів, зменшення викидів після ігуритового холодильника та скрубера, контроль рівня забруднення робочої зони та довкілля токсичними газами, керування тими технологічними об'єктами, які визнані найбільш небезпечними. У виборі технічних засобів автоматизації особливу увагу слід приділити їх надійності.

Досягнення мети дослідження дозволить суттєво підвищити ефективність очищення газів та надійність виробництва, а також зменшити негативний вплив на природу та на здоров'я працівників.

* Ковалев В. М. Технология производства синтетических моющих средств [Текст]: Учеб. пособие для ПТУ / В. М. Ковалев, Д. С. Петренко. – М.: «Химия», 1992. – 272 с. : ил. – Библиогр.: с. 264. – ISBN 5-7245-0413-8.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА В ПРОЦЕСІ ДЕСТРУКТИВНОЇ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТІВ І ГУДРОНІВ

Білецький К. М., Черьопкін Є. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kost11998@gmail.com

Одним із важливих елементів в процесі деструктивної перегонки мазутів та гудронів є холодильник. Мазут, що надходить з нафтоперегінної установки, насосом через теплообмінники* подається у змішувач печі. Через конвекційні труби змішувача мазут надходить у радіантні труби. Після виходу з радіантного змішувача суміш подається в нижню частину випарника. Виведена зверху випарника суміш пари з невеликою кількістю крекінг-газів слугує теплоносієм у теплообміннику; звідси вуглеводний конденсат, гази та пари надходять під нижню тарілку ректифікаційної колони. Нижній продукт колони являє собою газойль з початком кипіння близько 340 °С. Фракція дизельного палива до виходу її з випарної колони продувається на шести тарілках водяною парою. Режим роботи установки деструктивної перегонки сірчастого мазуту (густина за температури 20 °С становить 942 кг/м³; масові частки коксівності – 9,5 %, сірки – 2 % та фракцій до 350 °С – 4,7 % відповідно) характеризується температурою сировини на виході з печі, яка становить 460...475 °С.

У роботі було розглянуто холодильник який використовується для охолодження газойлю. Під час математичного моделювання було прийнято такі припущення: холодильник розглядається як об'єкт із зосередженими параметрами; температури охолоджувальної води та газойлю постійні; втрати тепла у довкілля відсутні; температури води та газойлю є середнім арифметичним між вхідною та вихідною температурами.

В ході математичного моделювання було отримано рівняння такі статичні:

$$T_{ГВХ}F_{ГВХ}c_{Г} - T_{ГВИХ}F_{ГВИХ}c_{Г} + ks \left(\frac{T_{ГВХ} + T_{ГВИХ}}{2} - \frac{T_{ВВВХ} + T_{ВВИХ}}{2} \right) = 0;$$

$$T_{ВВХ}F_{ВВХ}c_{В} - T_{ВВИХ}F_{ВВИХ}c_{В} - ks \left(\frac{T_{ГВХ} + T_{ГВИХ}}{2} - \frac{T_{ВВВХ} + T_{ВВИХ}}{2} \right) = 0.$$

Відповідні рівняння динаміки теплового балансу мають вигляд

$$T_{ГВХ}F_{ГВХ}c_{Г} - T_{ГВИХ}F_{ГВИХ}c_{Г} + ks \left(\frac{T_{ГВХ} + T_{ГВИХ}}{2} - \frac{T_{ВВВХ} + T_{ВВИХ}}{2} \right) = \frac{dM_{сВ}T_{ВВИХ}(t)}{dt};$$

$$T_{ВВХ}F_{ВВХ}c_{В} - T_{ВВИХ}F_{ВВИХ}c_{В} - ks \left(\frac{T_{ГВХ} + T_{ГВИХ}}{2} - \frac{T_{ВВВХ} + T_{ВВИХ}}{2} \right) = \frac{dM_{сВ}T_{ВВИХ}(t)}{dt},$$

де T – температура; F – витрата; c – теплоємність; k – коефіцієнт теплопередачі; s – площа контакту; індекси, що починаються на: «В» – води, «Г» – газойлю, «ВХ» – на вході, «ВИХ» – на виході.

Отриману математичну модель в подальшому буде використано для синтезу системи керування.

* Принципы математического моделирования химико-технологических систем [Текст] / В. В. Кафаров, В. Л. Перов, В. П. Мешалкин и др. – М.: Химия, 1974. – 344 с. – Библиогр.: с. 332–335. – 3000 экз. – ISBN 5-93208-043-4.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА МАСТИЛ НА ОСНОВІ МИЛЬНИХ ЗАГУСНИКІВ

Лазарев А. В., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, artemm658@gmail.com

Основне призначення мастил – зменшення зношеності поверхонь тертя з метою збільшення довговічності деталей машин та механізмів. Попри це, мастила виконують також інші функції, зокрема захисні: вони запобігають проникненню до поверхонь тертя агресивних рідин, газів і пар, здатних викликати корозію металевих поверхонь, а також різних абразивних часток.

Технологічний процес виробництва мастил на основі мильних загусників складається з таких основних стадій: підготовка омиленої реакційної суміші, створення зневодненої суміші, виробництво мастила.

Технологічну схему процесу зображено на рисунку*.

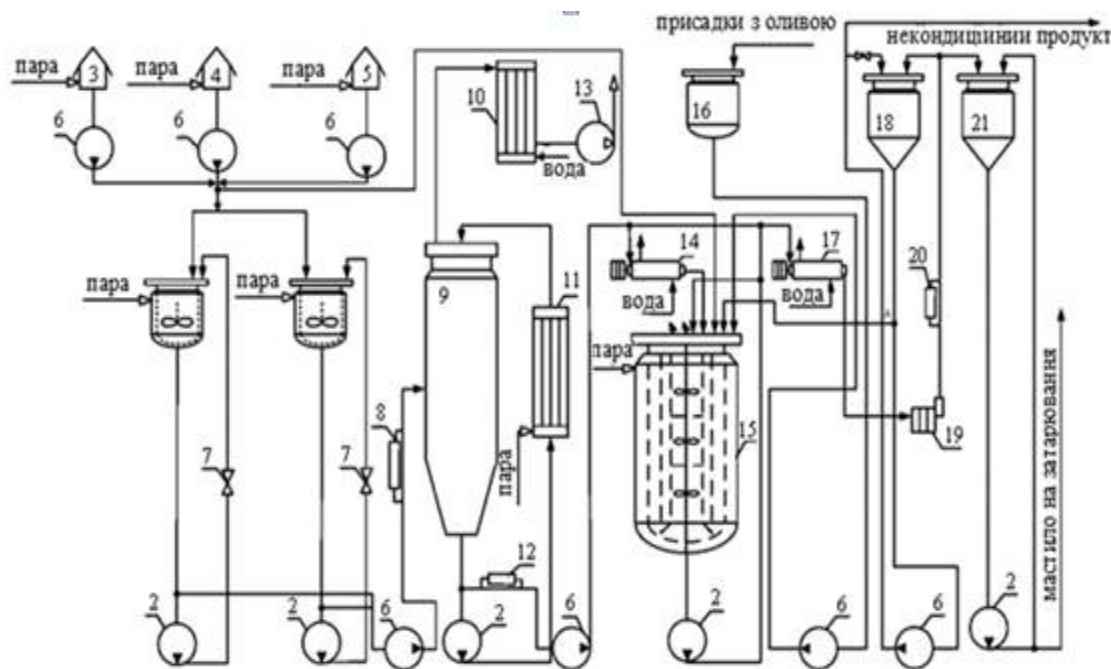


Схема установки виробництва мастил на мильних загусниках: 1, 15 – реактори; 2 – насоси; 3, 4, 5 – сировинні приймачі; 6 – дозувальні насоси; 7 – гомогенізувальні клапани; 8 – рН-метр; 9 – випарний апарат; 10 – конденсатор; 11 – трубчатий теплообмінник; 12 – вологомір; 13 – вакуумний насос; 14 – скребковий нагрівник; 16 – змішувач; 17 – скребковий холодильник; 18, 21 – накопичувачі; 19 – установка для гомогенізації, фільтрування та деаерації; 20 – віскозиметр

* Бондаренко Б. И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа [Текст] / Б. И. Бондаренко, О. Ф. Глаголева, Г. И. Глазов и др.; под. ред. Б. И. Бондаренко. – М.: Химия, 2003. – 202 с. – Библиогр.: с. 186–192. – 3000.

Підготовлені сировинні компоненти подаються з приймачів 3–5 дозувальними насосами 6 у реактори 1 з високообертовими мішалками, які забезпечують інтенсивне перемішування малов'язкої суспензії. Омилену реакційну суміш, яку готують в одному із задіяних паралельно реакторів 1 і подають насосами 2 у випарний апарат 9, де суміш повністю зневоднюється за рахунок багаторазової циркуляції суміші через теплообмінник 11. Вміст вологи контролюють вологоміром 12. Із циркуляційного контуру зневоднену суміш насосом 6 через скребковий (з огляду на високу в'язкість зневодненого продукту) нагрівник 14 перекачують для термообробки в реактор 15.

У реакторі 15, обладнаному скребково-лопасним перемішувальним пристроєм, мастило витримують заданий технологічною картою час за температури термообробки (200...250 °C). Відтак, за запущеного в роботу перемішувального пристрою, в апарат накачують частину залишкової оливи, знижуючи температуру суміші до 175...185 °C. У разі потреби мастило частково охолоджують (до 160...165 °C), після чого насосом 6 зі змішувача 16 вводять присадки. Подача концентрату присадок можлива також після першої стадії охолодження в холодильнику 17. На цьому періодичний цикл у реакторі 15 закінчується, а його вміст дозувальним насосом 6 подається в скребковий холодильник 17, з нього – на установку 19 (для гомогенізації, фільтрування та деаерації), а потім – у накопичувач готового мастила 21. Якість мастила контролюють пристроєм для вимірювання реологічних властивостей мастил у потоці 20. Некондиційне мастило збирається в накопичувачі 18, звідки воно може повертатися на додаткове перероблення.

Аналізуючи функції, що виконує кожний апарат на описаному виробництві, а також вагомість кожного апарату окремо, можна виділити низку апаратів, що є основними з точки зору формування заданих параметрів якості мастил: випарний апарат 9, реактори 1 та 15. Якість мастил визначається реологічними властивостями – такими як плинність, густина, в'язкість, яких мастила набувають на стадії омилення у реакторах 1 та в процесі термообробки в реакторі 15.

Для автоматизації описаного виробництва слід передбачити автоматичне дозування сировини в реактори омилення, контроль і регулювання вологовмісту та рН у випаровувачі, температурного режиму та часу перебування на термообробці, а також реологічних властивостей готових мастил, найважливішими показниками яких є в'язкість (у структурованих системах, до яких відносять пластичні мастила, вимірюється ефективна або аномальна в'язкість) та границя міцності. Для розробки системи керування роботою реактора 15, процеси в якому найбільше впливають на формування показників якості мастил, в подальшому планується здійснити математичне моделювання статичного та динамічного режимів роботи реактора за каналами керування та збурення.

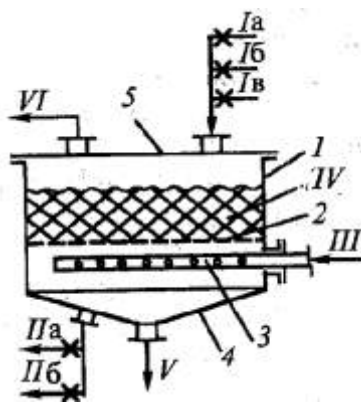
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ АДСОРБЕРА НАПІВНЕПЕРЕРВНОЇ ДІЇ З НЕРУХОМИМ ШАРОМ СОРБЕНТУ

Бородін В. І., Антончик С. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, antonchuk68@gmail.com

Доцільність адсорбції в нерухомому шарі зумовлена тим, що початкова концентрація речовини в газовій (рідинній) суміші здебільшого дуже невелика. Через це активна стадія процесу – адсорбція (її тривалість може складати години) – займає достатньо велику частину часу від повного циклу процесу. Тому адсорбцію можна проводити в нерухомому шарі.

Типовий апарат для циклічної сорбції вуглеводів нерухомим шаром зображено на рисунку*.



Адсорбер напівнеперервної дії з нерухомим шаром сорбенту:

1 – апарат (корпус); 2 – розподільувальна решітка; 3 – барботер; 4 – дифузор; 5 – кришка;

I – вхідні гази: I_а – початкова суміш; I_б – гаряче повітря; I_в – холодне повітря;

II – вихідні гази: II_а – газ, очищений від вуглеводнів; II_б – повітря після осушування

і охолодження сорбенту; III – водяна пара; IV – нерухомий шар сорбента;

V – конденсат; VI – десорбована речовина з водяною парою

В корпусі 1 змонтовані опорна решітка 2, яка підтримує шар сорбенту IV, і барботер 3; апарат зверху закритий кришкою 5, а знизу закінчується дифузором 4. Сорбент являє собою зерна неправильної форми, розміром від 2...5 до 6...10 мм.

Процес відбувається в 4 стадії.

1. *Адсорбція*. Через штуцер у кришці на шар холодного сорбенту подається початкова суміш I_а. Сорбент поглинає суміш вуглеводів і поступово насичується ними. Процес ведуть до тих пір, поки шар сорбенту не насититься і вміст адсорбтива в очищеному газі (вихідний потік II_а) не досягає максимально допустимої величини $y_{кр}$ – з цього моменту стадія адсорбції вважається закінченою і подача вхідної сировини припиняється.

* Айнштейн В. Г. Общий курс процессов и аппаратов химической промышленности [Текст]: Учебник для вузов / В. Г. Айнштейн. – М.: Издательство «Бином», 2014. – 1758 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 1174–1175. – ISBN 5-94010-125-9.

Десорбція. Через барботер 3 починають подавати перегріту водяну пару (потік III) для нагрівання сорбенту і зниження парціального тиску адсорбтиву (обидва ефекти сприяють десорбції адсорбата). У перші моменти подачі пари (поки йде нагрівання шару та апарата) певна частина її конденсується, конденсат видаляється знизу (потік V); потім суміш перегрітої пари відводиться зверху (потік VI). Далі сировина відділяється від пари.

Осушування сорбенту. Після десорбції сорбент містить вологу і підлягає осушуванню, що проводиться гарячим повітрям, яке подається в лінію початкової суміші (потік I_6) і виводиться знизу через нижній штуцер (лінія потоку II_6). В результаті сорбент звільняється від вологи; однак він ще не повністю готовий до наступного циклу сорбції, оскільки залишається гарячим;

Охолодження сорбенту. Через той же штуцер початкової суміші подається холодне повітря (потік $I_в$), яке виводиться через лінію потоку II_6 .

На цьому (стадії 2, 3, 4) закінчується регенерація сорбенту, після чого цикл «адсорбція-регенерація» повторюється.

Оскільки технологічні операції до та після адсорбера з нерухомим шаром сорбенту можуть здійснюватись у неперервному режимі, то ставлять зазвичай два (іноді й більше) адсорбери напівнеперервної дії. Їх перемикають (в одному відбувається сорбція, а в другому в цей час – десорбція та регенерація) так, що періодично задіяний адсорбер з нерухомим шаром сорбенту не порушує неперервності технологічного процесу в цілому.

На основі аналізу перебігу технологічного процесу можемо визначити основні контури контролю та керування роботою адсорбера: регулювання подачі початкової суміші, що підводиться до шару холодного сорбенту; регулювання температури та подачі перегрітої водяної пари; регулювання температури та подачі гарячого повітря для осушування сорбенту; регулювання подачі холодного повітря для охолодження сорбенту; контролю температури сорбенту на виході з апарата.

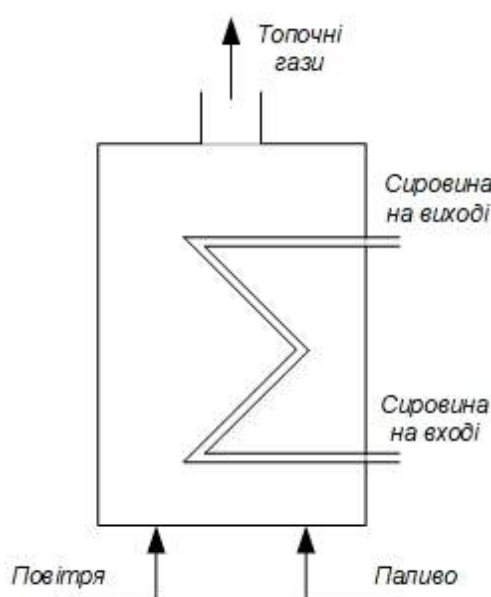
Пропоноване рішення дає змогу отримувати повну інформацію про стан технологічного процесу та забезпечить перебіг процесу адсорбції в оптимальних умовах.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕЧІ У ПРОЦЕСІ ГІДРООЧИЩЕННЯ НАФТОВИХ ОЛИВ

Дворецький М. В., Данькевич А. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, dvoreckij7@gmail.com

У процесі гідроочищення нафтових олив застосовується процес згорання домішок газосировинної суміші, яка надходить до печі для спалювання домішок палива. Цей процес є важливою складовою у гідроочищенні нафтових олив. Оскільки дослідження цього процесу на реальному об'єкті веде до значних часових та економічних затрат з можливістю утворення бракованої продукції, виникає необхідність створення математичної моделі печі. Структурну схему досліджуваної печі зображено на рисунку.



Структурна схема печі

Рівняння матеріального балансу має вигляд

$$G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}} - G_{\text{тг}} = 0.$$

Запишемо рівняння стативи

- для міжтрубного простору:

$$G_{\text{пов}} c_{\text{пов}} \theta_{\text{пов}} + G_{\text{пал}} c_{\text{пал}} \theta_{\text{пал}} - G_{\text{тг}} c_{\text{тг}} \theta_{\text{тг}} - \int_0^L K s_{\text{тптб}} \left[\theta_{\text{тг}} - \frac{\delta \theta_{\text{св}}(x)}{\delta x} \right] dx + \\ + G_{\text{пал}} C_{\text{м}} q_{\text{м}} + G_{\text{пал}} C_{\text{е}} q_{\text{е}} + G_{\text{пал}} C_{\text{п}} q_{\text{п}} + G_{\text{пал}} C_{\text{б}} q_{\text{б}} = 0,$$

де $G_{\text{пал}}$, $c_{\text{пал}}$, $\theta_{\text{пал}}$ – витрата, концентрація та температура палива відповідно; $C_{\text{м}}$, $C_{\text{е}}$, $C_{\text{п}}$, $C_{\text{б}}$ – концентрація метану, етану, пропану та бутану відповідно; $G_{\text{пов}}$, $c_{\text{пов}}$, $\theta_{\text{пов}}$ – витрата, концентрація та температура повітря відповідно.

- для елементарного об'єму сировини:

$$G_{\text{св}} C_{\text{св}} \theta_{\text{св}} - G_{\text{св}} C_{\text{св}} \theta_{\text{св}} + K S_{\text{тб}} [\theta_{\text{тг}} - \theta_{\text{св}}] = 0,$$

де $G_{\text{св}}$, $c_{\text{св}}$, $\theta_{\text{св}}$ – витрата, концентрація та температура сировини відповідно; $G_{\text{тг}}$, $C_{\text{O}_2\text{тг}}$, $c_{\text{тг}}$, $\theta_{\text{тг}}$ – витрата, концентрація кисню, теплоємність та температура топочних газів відповідно.

Запишемо відповідні рівняння динаміки:

для матеріального балансу:

$$G_{\text{пал}}(t) + G_{\text{пов}}(t) - G_{\text{тг}}(t) = \frac{dM_{\text{тг}}(t)}{dt} = \frac{dV\rho(t)}{dt};$$

для міжтрубного простору:

$$\begin{aligned} & G_{\text{пов}}(t) c_{\text{пов}} \theta_{\text{пов}}(t) + G_{\text{пал}}(t) c_{\text{пал}} \theta_{\text{пал}}(t) - G_{\text{тг}}(t) c_{\text{тг}} \theta_{\text{тг}}(t) - \\ & - \int_0^L K(t) s_{\text{тб}} \left[\theta_{\text{тг}} - \frac{\delta \theta S_{\text{в}}(x)}{\delta x} \right] dx + G_{\text{пал}}(t) C_{\text{м}}(t) q_{\text{м}} + G_{\text{пал}}(t) C_{\text{е}}(t) q_{\text{е}} + \\ & + G_{\text{пал}}(t) C_{\text{п}}(t) q_{\text{п}} + G_{\text{пал}}(t) C_{\text{б}}(t) q_{\text{б}} = \frac{dM_{\text{тг}}(t) c_{\text{тг}} \theta_{\text{тг}}(t)}{dt}; \end{aligned}$$

для сировини:

$$\begin{aligned} & G_{\text{св}}(t) C_{\text{св}} \theta S_{\text{в}}(x, t) - \left(G_{\text{св}}(t) C_{\text{св}} \theta_{\text{св}}(x, t) + \frac{\delta G_{\text{св}}(t) C_{\text{св}} \theta_{\text{св}}(x, t)}{\delta x} \right) + \\ & + K(t) S_{\text{тб}} [\theta_{\text{тг}}(t) - \theta_{\text{св}}(x, t)] = \frac{dS_{\text{тб}} d_{\text{тб}} \rho_{\text{св}} C_{\text{св}} \theta_{\text{св}}(x, t)}{dt}. \end{aligned}$$

В подальшому, використавши отримані результати, планується дослідити об'єкт і синтезувати систему керування.

1. Иванова Л. В. Технология переработки нефти и газа [Текст] : учеб. пособие для нефт. техникумов / Л. В. Иванова, И. И. Корнеев, В. Н. Юзбашев. – М. : Химия, 1966. – 419 с. : ил. – Библиогр.: с. 406–408. – 8500 экз.

2. Соколов Р. С. Химическая технология [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений: В 2 т. – Т. 2: Metallургические процессы. Переработка химического топлива. Производство органических веществ и полимерных материалов / Р. С. Соколов. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – 277 с. : ил. – Библиогр.: с. 270–275. – 5000 экз. – ISBN 5-691-00356-9.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ГЛИНОЗЕМУ З БОКСИТУ МЕТОДОМ СПІКАННЯ

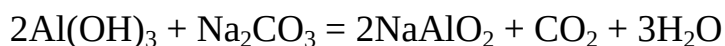
Підлісний В. С., Лукінюк М. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, underforest18@gmail.com

Технологічний процес виробництва глинозему з бокситу методом спікання складається з наступних основних операцій*:

1) здрібнювання алюмінієвої руди та вапняку, мокрий розмел шихти в содовому розчині та коригування складу пульпи;

2) спікання пульпи за температури 1300 °С за реакцією (для випадку бокситу):



і утворення дикальційсилікату



3) дроблення утвореного спека та вилужування з нього водою алюмінатів натрію й калію;

4) знекремнення розчину – видалення з розчину алюмінатів непрореагованого оксиду алюмінію й домішок оксиду силіцію у вигляді білого шламу, що повертається в процес;

5) карбонізація розчину алюмінатів дією оксиду вуглецю (IV) і осадження гідроксиду алюмінію;

6) відділення гідроксиду алюмінію від маткового розчину та його промивання водою;

7) кальцинування гідроксиду алюмінію за температури 1200 °С:

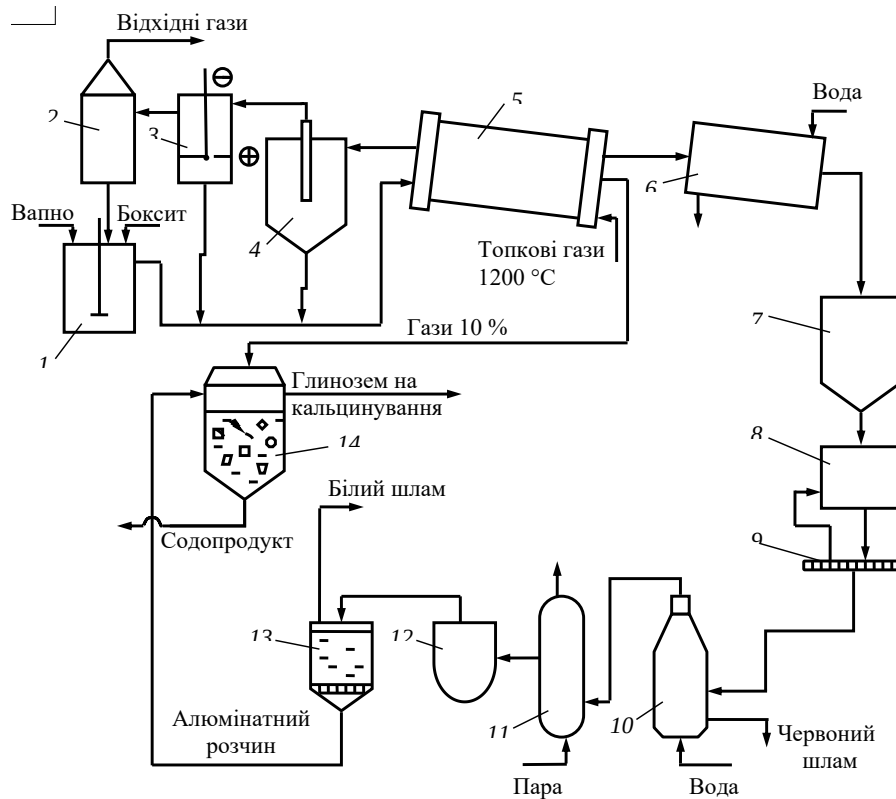


Технологічну схему процесу зображено на рисунку.

Шихта (пульпа) зі змішувача 1 надходить у трубчасту піч спікання 5. Утворений спек охолоджується в трубчастому холодильнику 6 і нагромаджується в бункері 7, звідки надходить у дробарку 8, а з неї – у грохот 9. Після грохота продукт потрібної дисперсності спрямовується в батарею вилужувачів (12–15 апаратів) 10, куди надходить вода та слабкий зворотний розчин алюмінату натрію. Тут відокремлюється червоний шлам, а алюмінатний розчин спрямовується в автоклав знекремнення 11, який обігрівается гострою парою (180 °С). Відтак, пройшовши загусник 12 і фільтр 13, на якому відокремлюється білий шлам, алюмінатний розчин надходить у карбонізатор 14, куди з печі спікання надходить газ, що містить оксид вуглецю (IV).

* Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

Гідроксид алюмінію, що випадає з розчину, відокремлюється і після проходження спрямовується на кальцинування, а розчин карбонатів натрію та кальцію після відокремлення спрямовується на приготування в шихту. Гази що відходять із печі спікання проходять через циклон 4, електрофільтр 3, і скруббер-осаджувач 2, де звільняється від пилу який повертається в процес, і викидається в атмосферу.



Технологічна схема виробництва глинозему з бокситу методом спікання:

1 – змішувач шихти; 2 – скруббер-осаджувач пилу; 3 – електрофільтр; 4 – циклон; 5 – трубчаста піч спікання; 6 – трубчастий холодильник; 7 – бункер спеку; 8 – дробарка; 9 – грохот; 10 – вилужувач; 11 – автоклав знекремнення; 12 – загусник; 13 – фільтр білого шламу; 14 – карбонізатор

Процесом, в якому відбуваються основні хімічні перетворення, вважається процес спікання шихти в трубчастій печі. Боксити спікаються з содою і вапняком, пов'язуючи кремнезем у нерозчинні в воді силікати, які легко відокремити від глинозему. Якість глинозему визначається вмістом домішок, які впливають на фізико-хімічні властивості глинозему. Отже, трубчасту піч можна вважати найважливішим апаратом описаної технологічної схеми.

З аналізу особливостей перебігу технологічного процесу можна дійти висновку, що саме керування роботою трубчастої печі є першочерговою задачею для розробки та дослідження майбутньої системи керування виробництвом. Виходячи з сутності процесу, що відбувається у трубчастій печі, за критерій керування доцільно прийняти продуктивне протікання процесу (підтримання потрібної вологості на певному рівні) із одночасним забезпеченням регулюванням температурного режиму та витрат сировини.

ГРАФ-ОПЕРАТОРНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВЗАЄМОДІЙНИМИ ПІДСИСТЕМАМИ

Бейко І. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ivan.beyko@gmail.com

Новітні математично-комп'ютерні технології оптимального керування взаємодією ієрархічно керованих підсистем збагатилися новими методами конструктивної теорії оптимального керування, зокрема, прискореними методами вищих порядків збіжності, методами розв'язувальних і асимптотично-розв'язувальних операторів із використанням алгоритмів внутрішньої точки.

Практичні труднощі побудови оптимального керування взаємодією складних керованих підсистем із зосередженими та розподіленими параметрами пов'язані зазвичай із великими розмірностями керованих підсистем, складними фазовими обмеженнями та складними обмеженнями на допустимі керування [1, 2]. Швидкість та точність реалізації алгоритмів обчислення оптимального керування в режимі реального часу залежить від адекватності та конструктивних особливостей робочих математичних моделей підсистем, що визначають швидкодію обчислення локально-оптимальних керувань взаємодійними підсистемами. У великомасштабних прикладних задачах для побудови оптимального керування взаємодією керованих підсистем будуються граф-операторні моделі, де наявна інформація про причинно-наслідкові залежності керованої взаємодії підсистем (вузлів граф-операторної системи) описується відповідними алгебро-інтегро-диференціальними рівняннями із частинними похідними [3].

У випадку побудови розв'язувального оператора обчислення оптимального керування зводиться до мінімізації функціонала, визначеного за знайденим розв'язувальним оператором. Розв'язувальні оператори побудовані для лінійних систем, а для нелінійних систем будуються асимптотично-розв'язувальні оператори і оптимальне керування обчислюється за комбінованими алгоритмами із використанням швидкозбіжних методів внутрішньої точки для нелінійних задач оптимізації у функціональних просторах [2, 3].

1. Beyko I. An unified solve-operator methodology and an advanced Information technology for optimal decision-making in search for new knowledge [Text] / I. Beyko // Inform. techn. contr. of safe regional environm: Proc. Europe Seminar, AFCEA, May, 28–30, 1998. – P. 44–50.

2. Бейко І. В. Задачі, методи і алгоритми оптимізації: навч. посібник, 2-ге вид. перероб. / І. В. Бейко, П. М. Зінько, О. Г. Наконечний. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2012. – 799 с. – Бібліогр.: 791–798 – ISBN 978-966-439-564-6.

3. Beyko I. Optimization problems with partial derivatives and algorithms for constructing generalized solutions [Text] / Ivan Beyko, Olesya Shchyrba // Taurida Journal of Computer Science Theory and Mathematics. – 2013. – No 2. – P. 10–16.

ЗМІСТ

«Кафедра автоматизації хімічних виробництв...»	3
1. Ayumen A. A., Zaichenko S. V. Mathematical modeling of the diagnostic system of an autonomous generator	5
2. Зварич Д. М. Метод раннього виявлення відхилення від норми процесу компримування природного газу	6
3. Семенов Г. Н. Інтелектуальна підтримка прийняття рішень при керуванні технологічними ризиками в бурінні.....	8
4. Панов А. О. Регулювання усталеного відхилення напруги в електричних мережах 0,4 кВ	10
5. Гавриш Б. А., Радюк Т. М., Коржик М. В., Лукінюк М. В. Метод наближено оптимального керування складними об'єктами	12
6. Ковриго Ю. М., Новіков П. В. Схема керування на базі двоканального фазі контролера	14
7. Сазонов А. Ю., Рудюк М. С. Інтелектуалізована система контролю мерчандайзингу.....	16
8. Максимов М. М., Давыдов В. О. Разработка критерия для метода выбора структуры и свойств недиспетчеризуемых генерирующих установок	18
9. Batyuk L. V., Chovpan H. O. Model of determination of level of students' knowledge to solve medical tasks in interactive mode	20
10. Чернега Р. М. Алгоритм цифрового пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання	21
11. Гурський О. О., Гончаренко О. Є., Дубна С. М. Розробка алгоритму налагодження координувальної системи автоматичного управління	23
12. Берега О. М., Ладієва Л. Р. Автоматизація процесу вакуумної контактної мембранної дистиляції.....	25
13. Клімчук О. С., Данькевич А. О. Розробка структури системи оповіщення працівників у разі аварійної ситуації	27
14. Коваленко О. В., Лукінюк М. В. Використання сучасних програмованих логічних контролерів для автоматизації технологічних процесів	28
15. Istomin A. P., Ladieva L. R. Automation of the alcohol sulfination process	30
16. Потапчук А. В., Ковалюк Д. О., Гавриш Б. А. Математичне моделювання контактного апарату у виробництві хлористого вінілу.....	32
17. Камінський В. Г., Бородін В. І. Створення нечіткої системи керування стадією охолодження у процесі виробництва ацетиленової сажі	34
18. Бушмакін Б. В., Ковалюк Д. О. Синтез системи керування холодильником засобами <i>Control System Toolbox</i>	35
19. Яковенко Т. Г., Ситніков О. В. Постановка задачі автоматизації виробництва етилового спирту сірчаноокислотною гідратацією етилену.....	37
20. Захарчук А. С.; Черьопкін Є. С. Система керування реактором у процесі каталітичного крекінгу з використанням нечіткої логіки.....	38
21. Максимчук О. В., Ситніков О. В. Постановка задачі автоматизації виробництва метилового спирту з оксиду вуглецю та водню.....	40
22. Юсик Я. П., Фединець В. О., Васильківський І. С. Керування парорідними кожухотрубними теплообмінниками з мінімізацією енергетичних затрат.....	42
23. Рихлик Д. Ю., Ковалевський В. М. Синтез нейромережевого регулятора у процесі сушіння подвійного суперфосфату	44
24. Крих Г. Б., Матіко Г. Ф., Стасюк І. Д. Ідентифікація астатичного об'єкта керування в замкнутій системі	46
25. Конончук О. В., Козаневич З. Я. Зона гартування як об'єкт керування температурою у виробництві сажі.....	48

26. Полковенко Б. Т., Бородін В. І., Бінецький О. Є. Синтез нейронечіткого регулятора для керування процесом випарювання у виробництві кристалічного карбаміду марки «А»	50
27. Швидкий Є. А., Ярошук Л. Д. Імітаційне моделювання об'єкта та системи керування в програмному середовищі <i>LabView</i>	52
28. Ситніков О. В., Булах О. О. Кодування інформації за допомогою крипто-графічного алгоритму <i>RSA</i>	54
29. Клуста Т.В., Козаневич З. Я. Моделювання системи керування алкїлатором з ПД-регулятором у середовищі <i>Simulink</i>	55
30. Тюрїна Є. О., Ярошук Л. Д. Задачі моделювання процесу адсорбції олив та мастил	57
31. Ковалюк Д. О., Кондратова В. І. Моделювання динамічного режиму теплообмінника у процесі виробництва метанолу	59
32. Ситніков О. В., Ключко А. Р. Автоасоціативний датчик <i>MLP</i> для виявлення оновлення значень технологічних параметрів	61
33. Левченко П. І., Бородін В. І. Керування хімічним виробництвом із застосуванням нейронних мереж	63
34. Загребельний Д. В., Ситніков О. В. Постановка задачі автоматизації алкїлування ізобутану бутіленами у присутності фтористого водню	64
35. Колоскова О. О., Данькевич А. О. Аналіз впливу процесів випарювання на кольоровість цукрового соку	66
36. Слабик О. М., Матїко Ф. Д., Лесовой Л. В. Алгоритм визначення кількості теплової енергії для систем з витратомірм змінного перепаду тиску	68
37. Жученко А. І., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю. Модернізація системи автоматичного керування напірним ящиком з повітряною подушкою	70
38. Бокїй А. Ю., Ладїєва Л. Р. Постановка задачі моделювання електростатичного очищення газів від пилу та шкідливих домішок	72
39. Волошин О. С., Ярошук Л. Д. Автоматизація випарника етилену в процесі полімеризації ізобутилену	74
40. Семків Р. Ю. Архітектура сучасного веб-додатка реального часу	76
41. Ковалюк Д. О., Гордієв А. В. Моделювання теплообмінника у програмному пакеті <i>Comsol Multiphysics</i>	78
42. Жученко А. І., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю. Закони керування системою подачі маси на сітку папероробної машини	80
43. Шапошник А. А., Коротинський А. П. Розробка структурно-параметричної схеми випарного апарата	83
44. Ковалевський В. М., Люлін М. С. Програмний пакет для імітаційного моделювання роботи гідролізного апарата у виробництві етанолу	84
45. Ковалевський В. М., Ластовина В. В. Прикладна програма для моделювання значень параметрів реактора у виробництві метанолу	86
46. Торкін А. С., Черьопкін Є. С. Аналіз схеми автоматизації холодильника-конденсатора у виробництві азотної кислоти	88
47. Семенцов В. К., Ладїєва Л. Р. Методи оцінки якості гранулометричного складу в апараті з псевдозрідженим шаром	89
48. Шевченко О. Ю., Черьопкін Є. С. Вибір і налаштування датчика ваги для дозатора у виробництві пористої амїачної селїтри	91
49. Осїпа Р. А., Галїм'янов О. В. Моделювання процесу нейтралїзації стїчних вод з буферними властивостями	92
50. Ковалюк Д. О., Степанюк М. М. Аналіз схем нейромережевого керування технологїчними процесами	94
51. Цапар В. С., Баженова М. М. Постановка задачі автоматизації процесу очищення води з використанням флокулянту	96

52. Ковалевський В. М., Бишовець Д. С. Прикладна C#-програма для моделювання статичних та динамічних властивостей реакційної трубчастої печі.....	98
53. Смирнов В. С., Вайц Д. В. Організація структурно-інваріантних перетворювальних систем з прогнозуванням.....	100
54. Миленський В. В., Тихонюк А. М. Моделювання контактного апарата у виробництві сірчаної кислоти.....	102
55. Савула А. А., Черьопкін Є. С. Вибір і налаштування виконавчого механізму у виробництві гранульованої аміачної селітри	104
56. Ладісва Л. Р., Думанський М. О. Моделювання процесу в сушильній башті контактного цеху на виробництві сірчаної кислоти.....	105
57. Жученко О. А., Коротинський А. П. Сучасний стан питання розробки систем керування процесом випалювання вуглецевих виробів.....	107
58. Карпюк Д. М., Данькевич А. О. Розробка навчального стенда з вивчення та налагодження ПЛК для застосувань у хімічному виробництві	109
59. Кучера М. М., Данькевич А. О. Постановка задачі автоматизації змішувача в процесі карамелізації	111
60. Кубах С. О., Оніщенко В. О. Застосування штучного інтелекту в моделюванні хімічного реактора	112
61. Мугир О. П., Ярошук Л. Д. Визначення датчиків вологості для виробництва синтетичних мийних засобів.....	114
62. Ярошук Л. Д., Буйбарова Є. А. Створення бази знань для експертної системи керування процесом неперервної дистиляції кам'яновугільної смоли	116
63. Abisoye F. E., Cheropkin Y. S. Chemical reactor control algorithm.....	118
64. Бородін В. І., Войтюк Я. П. Постановка задачі на автоматизацію тарілчатого скрубера для мокрого очищення димових газів від пилу	120
65. Данькевич А. О., Жученко А. І. Структура системи керування екструдером з MPC-регулятором.....	122
66. Губар Б. П., Ситніков О. В. Дослідження структурно-параметричної схеми нейтралізатора у процесі нейтралізації сульфохлоридів	123
67. Кагляк О. Д., Шевченко К. В. Розроблення програмного модуля вибору режиму обробки для лазерного формування листових матеріалів.....	124
68. Білецький К. М., Черьопкін Є. С. Критерій якості керування холодильником у технологічному процесі деструктивної перегонки мазутів і гудронів.....	126
69. Жученко О. А., Коротинський А. П. Дослідження впливу витрати природного газу на температурні поля печі випалювання вуглецевих виробів	127
70. Бондаренко К. О., Сташкевич П. М., Лукінюк М. В. Перетворювач кута повороту вала виконавчих механізмів в уніфікований пневматичний сигнал	129
71. Ніколаєв Д. Ю., Ситніков О. В. Постановка задачі автоматизації виробництва дихлоретану з хлору та етилену.....	130
72. Гошко В. О., Ярошук Л. Д. Постановка задачі автоматизації утилізації вихідних газів процесу сульфохлорування	131
73. Білецький К. М., Черьопкін Є. С. Математичне моделювання холодильника в процесі деструктивної перегонки мазутів і гудронів	132
74. Лазарев А. В., Лукінюк М. В. Постановка задачі автоматизації виробництва мастил на основі мильних загусників	133
75. Бородін В. І., Антончик С. О. Постановка задачі автоматизації адсорбера напівнеперервної дії з нерухомим шаром сорбенту	135
76. Дворецький М. В., Данькевич А. О. Математичне моделювання печі у процесі гідроочищення нафтових олів	137
77. Підлісний В. С., Лукінюк М. В. Постановка задачі автоматизації виробництва глинозему з бокситу методом спікання	139
78. Бейко І. В. Граф-операторні моделі для побудови оптимального керування взаємодійними підсистемами	141

Наукове видання

**Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології – 2019**

**VI Міжнародна науково-практична конференція
молодих учених, аспірантів і студентів**

АКІТ – 2019

Київ, 23–24 квітня 2019 року

Матеріали конференції

Укладання, редагування, правка та комп'ютерне верстання *М. В. Лукінюка*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Перемоги, 37,
м. Київ, 03056

Темплан 2019, поз. 3-3-006

Підп. до друку 17.04.2019. Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – ризографічний. Ум. друк. арк. 8,37. Обл.-вид. арк. 13,92. Наклад 50 пр.
Зам. № 19-049.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ, 03056
тел. (044) 204-81-78

КПІ ім. Ігоря Сікорського
Видавництво «Політехніка»