

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ РЕГЕНЕРАЦІЇ ДИЕТИЛЕНГЛІКОЛЮ

В.С. Борин, М.С. Ізрак

ІФНТУНГ; 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 504521,
e-mail: www.maxwell.7@gmail.com, <mailto:kafatp@ukr.net>

Створено математичну модель технологічного процесу регенерації диетиленгліколю.

Розроблено структуру нечіткої моделі, яка відповідає складним багатостадійним технологічним процесам. Для аналізу одного етапу застосовано модель на основі методів Мамдані-Сугено. Нечітка модель побудована за результатами опитування експертів-технологів, що складають основу нечіткої моделі, і описує наскрізну технологію процесу регенерації диетиленгліколю.

Значна увага приділена імітаційному моделюванню, а саме здійснено експериментальне визначення динамічних характеристик за заданими каналами та проведено імітаційне моделювання системи з використанням нечіткого регулятора. За його результатами встановлено, що перехідні характеристики за каналами відповідають фізичним основам процесу регенерації. Проведено порівняльний аналіз перехідних процесів і визначено, що в каскадній системі регулювання показники якості кращі. Розроблено мнемосхему системи управління процесом.

Ключові слова: регенерація диетиленгліколю, нечітка модель процесу регенерації диетиленгліколю, імітаційне моделювання, нечіткий регулятор.

Создана математическая модель технологического процесса регенерации диетиленгликоля.

Разработана структура нечеткой модели, которая соответствует сложным многоэтапным технологическим процессам. Для анализа одного этапа применяется модель, базирующаяся на методах Мамдани-Сугено. Нечеткая модель построена по результатам опроса экспертов-технологов, составляющих основу нечеткой модели, и описывает сквозную технологию процесса регенерации диетиленгликоля.

Значительное внимание уделено имитационному моделированию, а именно осуществлено экспериментально определены динамические характеристики по заданным каналам и проведено имитационное моделирование системы с использованием нечеткого регулятора. По его результатам установлено, что переходные характеристики по каналам соответствуют физическим основам процесса регенерации. Проведен сравнительный анализ переходных процессов и определено, что в каскадной системе регулирования показатели качества лучше. Разработана мнемосхема системы управления процессом.

Ключевые слова: регенерация диетиленгликоля, нечеткая модель процесса регенерации диетиленгликоль, имитационное моделирование, нечеткий регулятор.

The mathematical model for the technological process of the diethylene glycol regeneration has been developed.

The structure of the fuzzy model has been worked out, which corresponds to the complex multi-stage technological processes. A model based on the Mamdani-Sugeno methods is applied for the analysis of one stage. The fuzzy model is built up due to the survey results that constitute the basis for the fuzzy model and describes the open technology of the diethylene glycol regeneration.

Considerable attention is paid to simulation modeling, namely, an experimental determination of the dynamic characteristics by the given channels has been conducted, as well as simulation of the system using a fuzzy regulator has been carried out. It has been established that the transition characteristics along the channels correspond to the physics of the regeneration process. A comparative analysis of transition process has been carried out. It has been determined that the quality parameters are better at the cascade control system. A mnemonic scheme of the process control system has been developed.

Key words: diethylene glycol regeneration, fuzzy model of diethylene glycol regeneration process, simulation modeling, fuzzy regulator.

Постановка проблеми. Україна має потужну систему експортних газопроводів, через яку тепер здійснюється транзит газу з Росії до країн Центральної та Західної Європи. Для збереження надійної роботи та конкурентноздатності газотранспортної системи впроваджується програма реконструкції компресорних станцій та лінійної частини, будуються нові газопроводи. Особлива увага приділяється осушенню газу та регенерації диетиленгліколю, оскільки відхилення вологості газу від норми веде до штрафних санкцій щодо України. Осушення газу та регенерація ДЕГу на компресорних станціях магістральних газопроводів є одними з основних технологічних процесів. Вони є до-

статньо складними неперервними технологічними процесами, які функціонують в умовах невизначеності.

Автоматизація процесів прийняття рішень та автоматичне управління такими складними багатозв'язаними об'єктами в умовах невизначеності пов'язана з відсутністю достатньо повних апріорних даних, а також з необхідністю застосування методів і засобів керування, які знижують ступінь невизначеності вхідної інформації. Рівень невизначеності визначається інтенсивністю нестаціонарних збурювальних впливів, точні кількісні характеристики яких важко, а інколи неможливо вимірювати в реальному часі, від складності математичної фор-

малізації процесу регенерації ДЕГу, від впливу людського фактора та суб'єктивності будь-яких оцінок і рішень людини-оператора при управлінні процесом регенерації в інтерактивному режимі [4,5].

Існуюча система керування не дозволяє враховувати неповноту інформації, а також лінгвістичну невизначеність керуючих рішень, які приймаються оперативно-диспетчерським персоналом. Таким чином, виникає необхідність в розробленні і поданні в розпорядження диспетчеру засобів аналізу ситуації з метою прийняття керуючих рішень. Динаміка і невизначеність технологічного процесу регенерації ДЕГу роблять задачу керування досить складною. Бажану якість регенерації можна отримати тільки при повному інформаційному забезпеченні і оптимальному керуванні технологічним процесом.

З врахуванням цих особливостей процесу регенерації диетиленгліколю (ДЕГу) впливає необхідність побудови високоефективної системи автоматизованого управління і системи підтримання прийняття рішень з урахуванням умов невизначеності. Одним з можливих шляхів вирішення цієї задачі є застосування теорії нечітких множин, запропонованої професором Л.А.Заде, для синтезу структури системи і алгоритмів її функціонування.

Зусиллями українських та іноземних вчених Є.В.Бодяньського, Ю.П.Кондратенка, А.П.Ладанюка, А.О.Лозинського, О.А.Лаврова, Н.Д.Панкратової, В.В. Різника, О.П.Ротштейна, Г.Н.Семенцова, Л.С.Ямпольського, R.Aliev, R.Hampel, E.H.Mamdani, D.Ruan, M.Sugeno, R.Takahashi, M.Wagenknecht, L.A.Zageh та ін. вже розв'язано багато задач, пов'язаних з теоретичним обґрунтуванням застосування нечіткої логіки для задач контролю і управління, в тому числі і для об'єктів нафтової і газової промисловості. Однак, ще недостатньо розроблені методи і засоби автоматизації з обробкою нечіткої інформації в процесі регенерації, що функціонує в реальному часі.

Подальшого розвитку й удосконалення вимагають також алгоритми для пристроїв обробки нечіткої інформації з метою підвищення їх точності та швидкодії для забезпечення можливостей реалізації управління і прийняття рішень в реальному часі. Отже, розроблення системи автоматизації технологічного процесу регенерації ДЕГу на базі нечіткої логіки є актуальною задачею, вирішення якої дозволить підвищити ефективність цього процесу.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Стаття виконана у відповідності до основного наукового напрямку діяльності кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Тематика роботи є частиною планових науково-досліджених робіт з розвитку нафтогазового комплексу України і ґрунтується на результатах держбюджетної теми «Інтелектуальний аналіз даних, моделювання, ідентифікація, контроль і оптимізація у системах керування для

нафтової і газової промисловості на основі засобів обчислювального інтелекту», яка входить до комплексної цільової програми «Науково-організаційні засади нарощення видобутку вітчизняних нафти і газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України». В рамках зазначеної теми автором безпосередньо було виконано розділи роботи із розроблення системи автоматичного управління процесом регенерації диетиленгліколю з використанням нечіткої логіки.

Метою роботи є підвищення ефективності управління технологічним процесом регенерації ДЕГу на компресорних станціях магістральних газопроводів.

Досягнення вказаної мети вимагає вирішення таких логічно-пов'язаних задач:

1. Проаналізувати існуючі методи і засоби автоматизації технологічного процесу регенерації ДЕГу.

2. Створити теоретичні засади автоматизованого керування процесом регенерації ДЕГу на компресорній станції магістрального газопроводу.

3. Здійснити моделювання невизначеності знань експертів-технологів про керування процесом регенерації ДЕГу.

4. Удосконалити відому та розробити нову функціональну структуру системи автоматизації технологічного процесу регенерації ДЕГу.

Висвітлення основного матеріалу. Об'єктом дослідження є процес регенерації ДЕГу.

Предметом дослідження є структура, програмно-технічні засоби, інформаційне та алгоритмічно-програмне забезпечення системи підтримання прийняття раціональних рішень для автоматизації технологічного процесу регенерації ДЕГу на компресорних станціях магістральних газопроводів.

Для розробки системи керування застосовують методи теорії автоматичного керування технологічним процесом регенерації диетиленгліколю та алгоритму її функціонування. Методи теорії нечітких множин – для подальшого розвитку розробленої системи; методи імітаційного моделювання – для тестування розробленої системи на ПК.

Побудова нечіткої моделі технологічного процесу регенерації ДЕГу

В даній статті запропоновано регулювання за допомогою нечіткого регулятора за якісною характеристикою ДЕГу – концентрацією. Функції нечіткого регулятора виконує ЕОМ зі SCADA-системою.

Основою проектування нечітких логічних регуляторів є створення «бази знань» з використанням методів зображення та пошуку бази знань. Оператор-експерт формує свою дію при кожній ситуації, яка спостерігається, у вигляді продукції ЯКЩО...ТО..., множина яких складає базу знань регулятора.

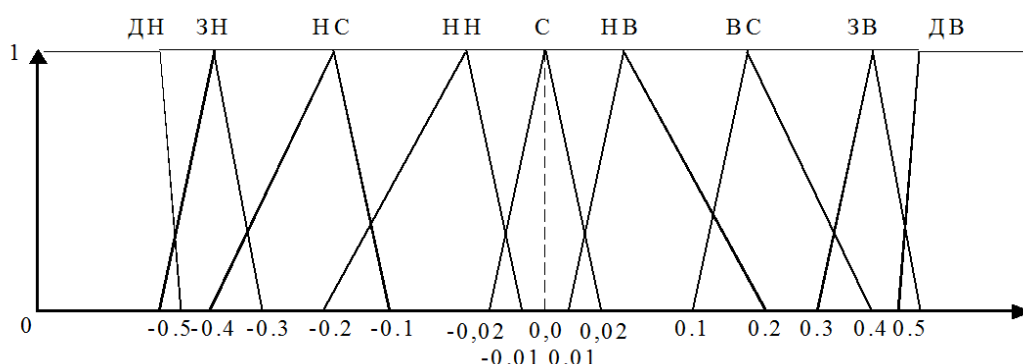


Рисунок 1 – Графік визначення функцій належності за зміною відхилення значення концентрації ДЕГу

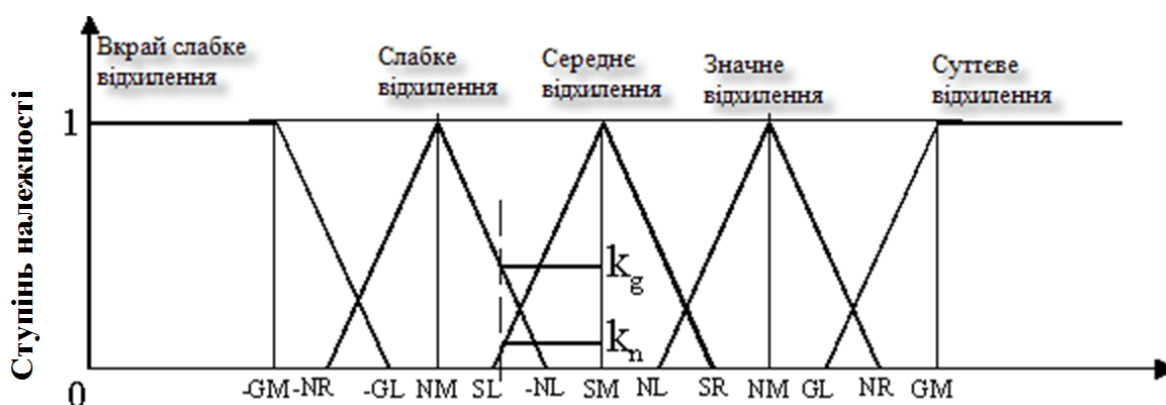


Рисунок 2 – Границі діапазонів функцій належності

Створення нечіткого регулятора на базі SCADA-системи

Редактор бази каналів включає в себе набір функціональних блоків за допомогою яких здійснюються контури регулювання, управління та сигналізації.

Мова функціональних блоків (Техно FBD) є візуальною мовою програмування алгоритмів.

FBD-програма розробляється шляхом розміщення функціональних блоків в робочому полі та з'єднанням їх в одну діаграму.

Розглянемо функціональні блоки, за допомогою яких реалізується Fuzzy-регулятор.

Блок FZCTR реалізує функцію нечіткого регулятора. Він має три функціональні входи і два виходи. На вхід INP потрібно подавати регулююче значення, а на вхід PV – значення уставки. На виході Q-блока формується величина управляючої дії. Вихід dQ використовується для виведення величини приросту управляючої дії на поточному перерахунку блока.

Значення виходів формується за таким алгоритмом:

$$Q = Q_1 + dQ,$$

$$dQ = k_g \cdot dQ_g + k_n \cdot dQ_n + k_s \cdot dQ_s,$$

де Q – управляюча дія;

Q₁ – управляюча дія на попередньому такті;

dQ – приріст управляючої дії;

k_g, k_n, k_s – належність відхилення регульованої величини до категорій “Велике”, “Середнє”, “Мале”;

dQ_g, dQ_n, dQ_s – приріст управління з умови “Велике”, “Середнє”, “Мале” відхилення відповідно.

Приріст по кожній із категорій відхилення розраховується за такою формулою:

$$dQ_j = K_j \cdot \text{SIGN}(PV - INP),$$

де INP – значення регульованої величини;

PV – значення уставки;

J – признак категорії відхилення;

g – сильне відхилення;

n – середнє відхилення;

s – низьке відхилення.

Коефіцієнти K_j налаштовуються входами K_g, K_n, K_s даного блоку.

Блок FZCTR(SFZ) призначений для налаштування діапазонів нечіткого регулятора, реалізованого в функціональному блоці FZCTR. Границі діапазонів налаштовуються входами даного блоку.

Принципова схема Fuzzy-регулятора по каналу регулювання концентрації ДЕГу на виході з десорбера, реалізованого за допомогою FBD.

Для зручності спостереження за керуючим сигналом, його значення перетворюється у % за допомогою блока t(%).

Підключення FBD-програми здійснено в РБК за каналом концентрації ДЕГу на виході з десорбера.

Дана система дає змогу підключити зовнішні алгоритми FBD-програм, які оформлені як DLL-модулі.

Імітаційне моделювання процесу

Імітаційне моделювання будемо проводити з метою візуалізації процесу та отримання перехідних характеристик, визначення їх показників якості в середовищі програмного продукту MATLAB.

Структурну схему системи моделюємо в середовищі Simulink. Вона складається з наступних блоків:

Step – стрибкоподібний одиничний сигнал збудження;

Sumator – суматор;

Transfer Fon – передавальна функція по каналу;

Scope – осцилограф для візуалізації процесу;

NCD Outport – блок налаштування параметрів регулятора і візуалізації перехідного процесу.

Оскільки передавальна функція по каналу “витрата парів-температура низу колони” має вигляд $W(p) = \frac{92.471p + 1}{34895.054p^2 + 368.111p + 1}$, то проведемо моделювання системи по цьому каналу.

З графіка перехідного процесу за каналом „витрата парів-температура низу колони” видно, що перерегулювання становить 10 %, а час перехідного процесу – 2950 с.

Тепер проведемо моделювання системи за каналом “витрата пари-якість вихідного продукту”, враховуючи, що передавальна функція по цьому каналу має такий вигляд

$$W(p) = \frac{-93.246p + 1}{3266022.649p^3 + 72527.582p^2 + 464.154p + 1}$$

З графіка перехідного процесу за каналом „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю” видно, що перерегулювання становить близько 7.5%, а час перехідного процесу – 3400 с.

З аналізу графіків перехідних процесів бачимо, що за каналом „витрата парів – температура низу колони” перерегулювання трохи більше, але час перехідного процесу менший, а за каналом „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю” навпаки. Це, мабуть, пояснюється тим, що перший канал менш інерційний, і тому перехідний процес менший, а за другим каналом перехідний процес більший через те, що вихідний продукт – диетиленгліколь – регулюється не безпосередньо, а опосередковано. А різниця в перерегулюваннях незначна.

Оскільки ступінь відпарювання (тобто якість регенерації диетиленгліколю) є основним параметром і переважно (в базовому варіанті) якість регенерації диетиленгліколю регулюється побічним параметром – температурою низу колони, а вона, в свою чергу, – витратою парів та кількістю рефлюксу на зрошення, що повертається в колону. Таким чином, якість вихідного продукту безпосередньо не контролюється.

Тому доцільно було б змоделювати каскадну систему регулювання якості вихідного продукту і провести порівняльний аналіз її показників якості і системи за каналом „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю.”

В даному випадку канал „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю” буде основним, більш інерційним, коректуючим, а канал „витрата парів-температура низу колони” – допоміжним, менш інерційним, стабілізуючим.

З графіка перехідного процесу видно, що перерегулювання становить 3.8 %, а час перехідного процесу – 2400 с.

З порівняльного аналізу графіків перехідних процесів можна зробити висновок, що в каскадній системі кращі показники якості, а саме перерегулювання, становить 3.8 % (проти 7.5 %), час перехідного процесу – 2450 с. (проти 3400 с.).

Це ще раз доводить те, що вихідний продукт – диетиленгліколь – регулюється не безпосередньо, а його якість регенерації залежить від впливу побічних параметрів, одним з яких є температура низу колони.

Розроблення мнемосхеми системи технологічного процесу регенерації диетиленгліколю з використанням нечіткої логіки.

Схема підсистеми ідентифікації зображена на рисунку 14. Вона включає модель керованого процесу у вигляді нечіткої моделі, яка повинна бути навчена в автономному режимі так, щоб мінімізувати помилку між реакціями процесу і моделі $e = y_p - y_m$ на послідовність пробних сигналів i .

Налаштування параметрів нечіткої мережі виконується автономно методом групового навчання, використовуючи дані, отримані при випробуваннях реального об'єкта. Для поповнення бази знань може бути використаний будь-якому з навчальних алгоритмів для нечітких моделей.

Управління з прогнозом використовує принцип горизонту коли нечітка модель керованого процесу передбачає реакцію об'єкта управління на певному інтервалі часу в майбутньому. Прогнози використовуються програмою чисельної оптимізації для того, щоб обчислити сигнал, що управляє, який мінімізує такий критерій якості управління:

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 +$$

$$\rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2$$

Тут константи N_1 , N_2 і N_u задають межі, усередині яких обчислюються помилка стеження і потужність сигналу, що управляється. Змінна u' описує пробний керуючий сигнал, y_r – бажаний, y_m – природну реакцію моделі керованого процесу. Величина ρ визначає внесок, який робить потужність управління в критерій якості.

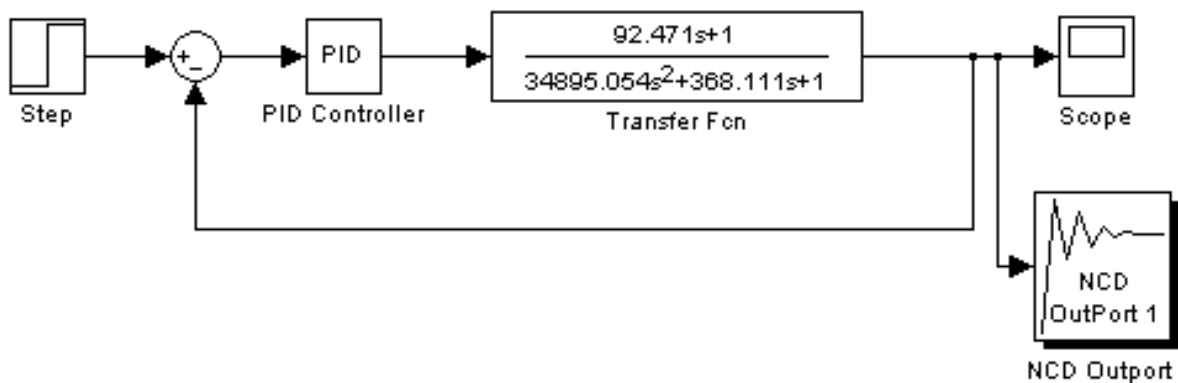


Рисунок 3 – Імітаційне моделювання системи за каналом „витрата парів – температура низу колони”

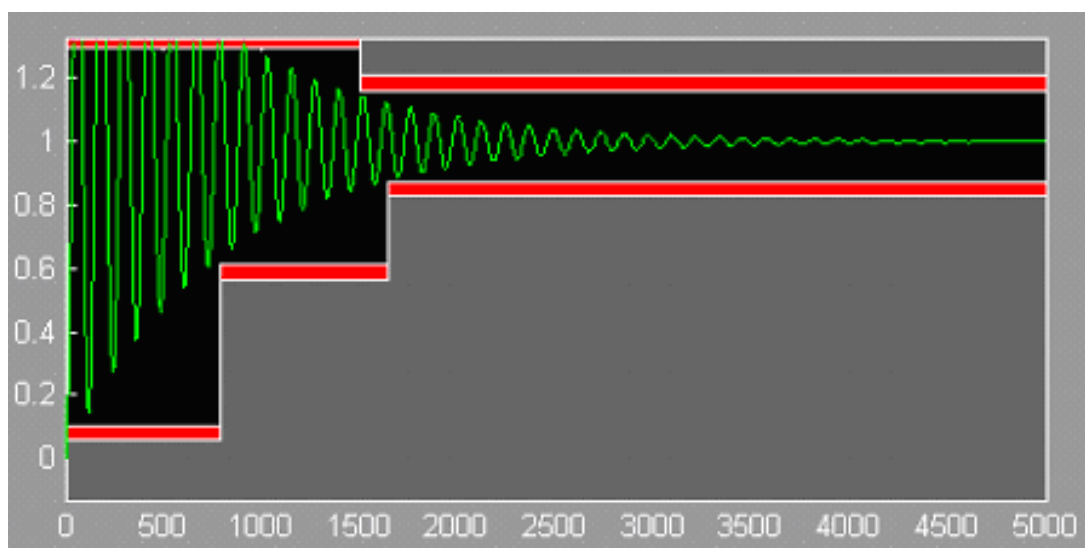


Рисунок 4 – Візуалізація блоку NCD

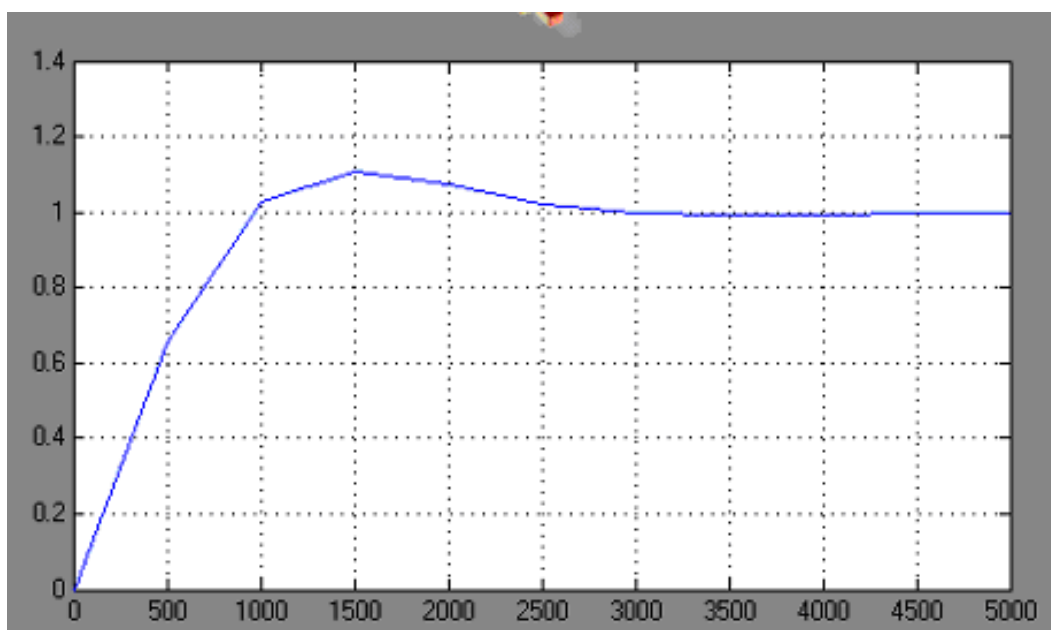


Рисунок 5 – Перехідний процес за каналом „витрата парів – температура низу колони”

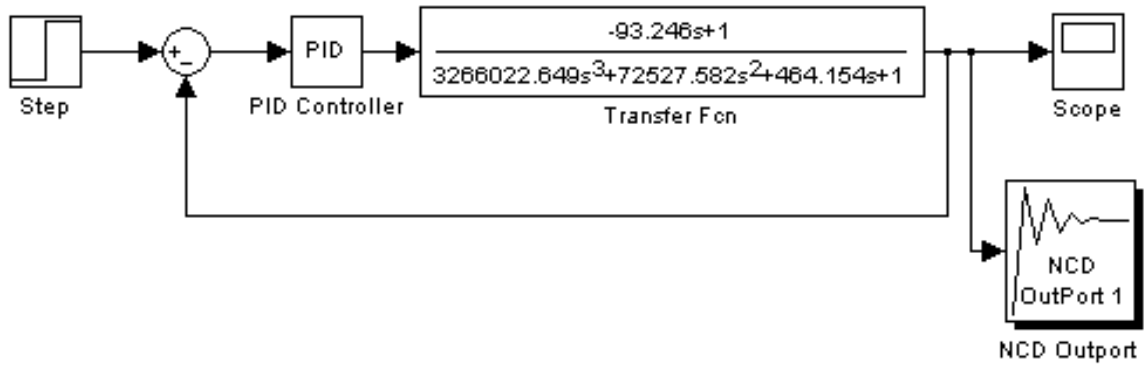


Рисунок 6 – Імітаційне моделювання системи за каналом „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю”

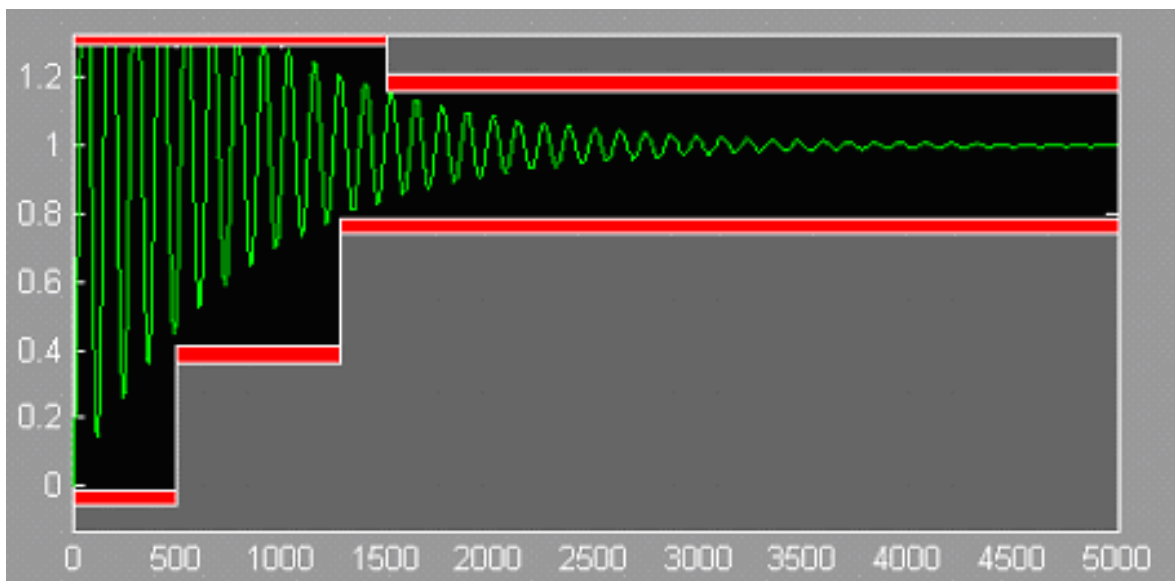


Рисунок 7 – Візуалізація блоку NCD

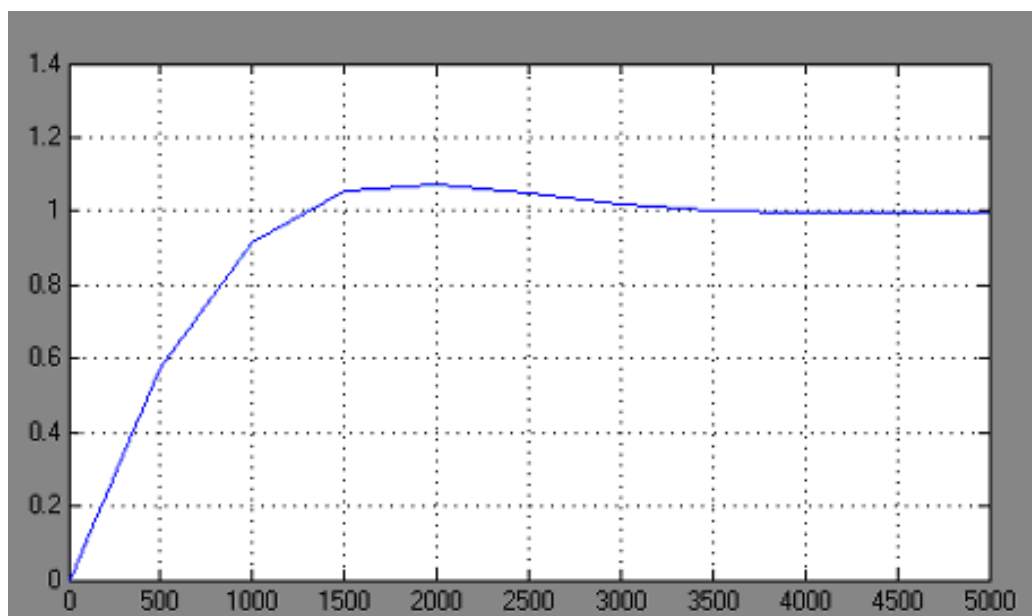


Рисунок 8 – Перехідний процес за каналом „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю”

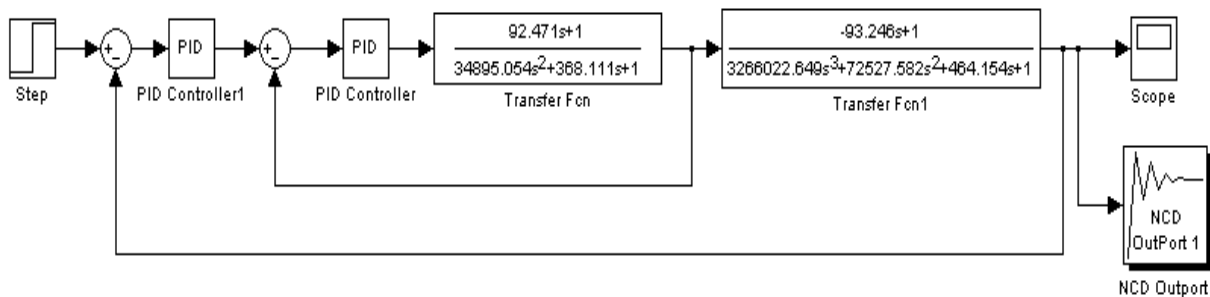


Рисунок 9 – Імітаційне моделювання каскадної системи регулювання якості регенерації діетиленгліколю

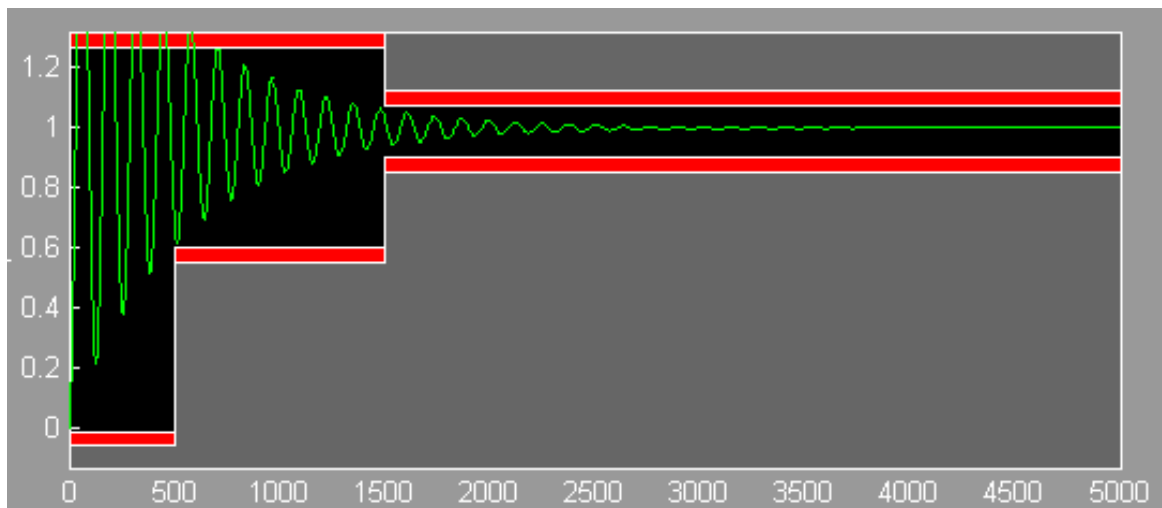


Рисунок 10 – Візуалізація блоку NCD для каскадної системи

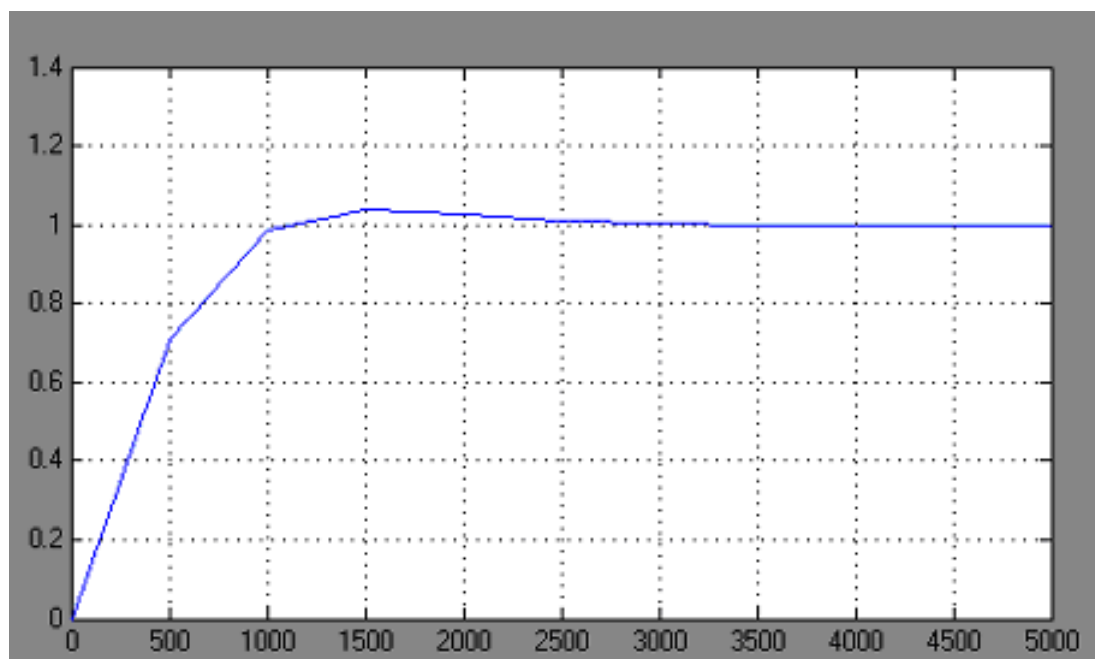


Рисунок 11 – Перехідний процес каскадної системи регулювання якості регенерації діетиленгліколю

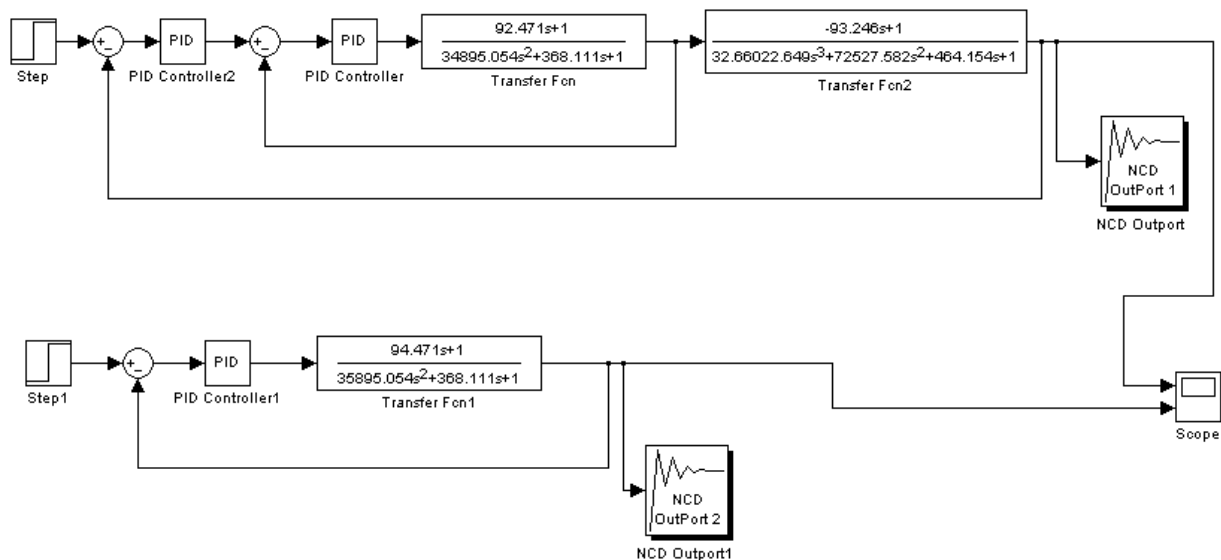


Рисунок 12 – Імітаційне моделювання каскадної системи регулювання

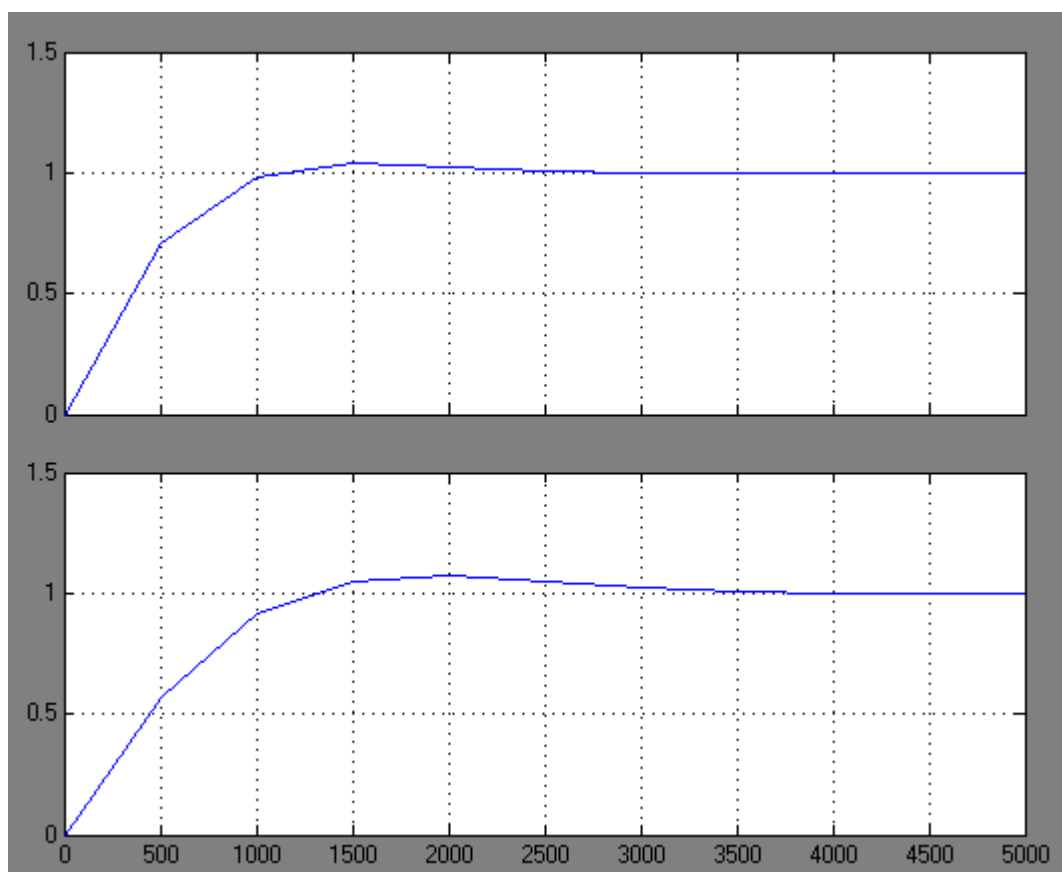


Рисунок 13 – Перехідні процеси каскадної системи регулювання якості регенерації диетиленгліколю і системи за каналом „витрата парів – якість регенерації диетиленгліколю”

Висновки

Синтезовано побудову нечіткого регулятора за правилами умовного логічного висновку, побудованих за результатами опитування оператора-експерта, функцій належності вхідних параметрів регулятора та створеної бази знань.

Визначено функції належності за зміною відхилення значень концентрації ДЕГУ. Прове-

дено відповідності між функціями належності, правилами керування та лінгвістичними формулюваннями, які характеризують параметри процесу регенерації ДЕГУ.

В результаті імітаційного моделювання нечіткої системи керування процесом регенерації ДЕГУ за каналами „витрата пари – температура низу колони” та „витрата пари – якість регенованого диетиленгліколю” визначено показ-

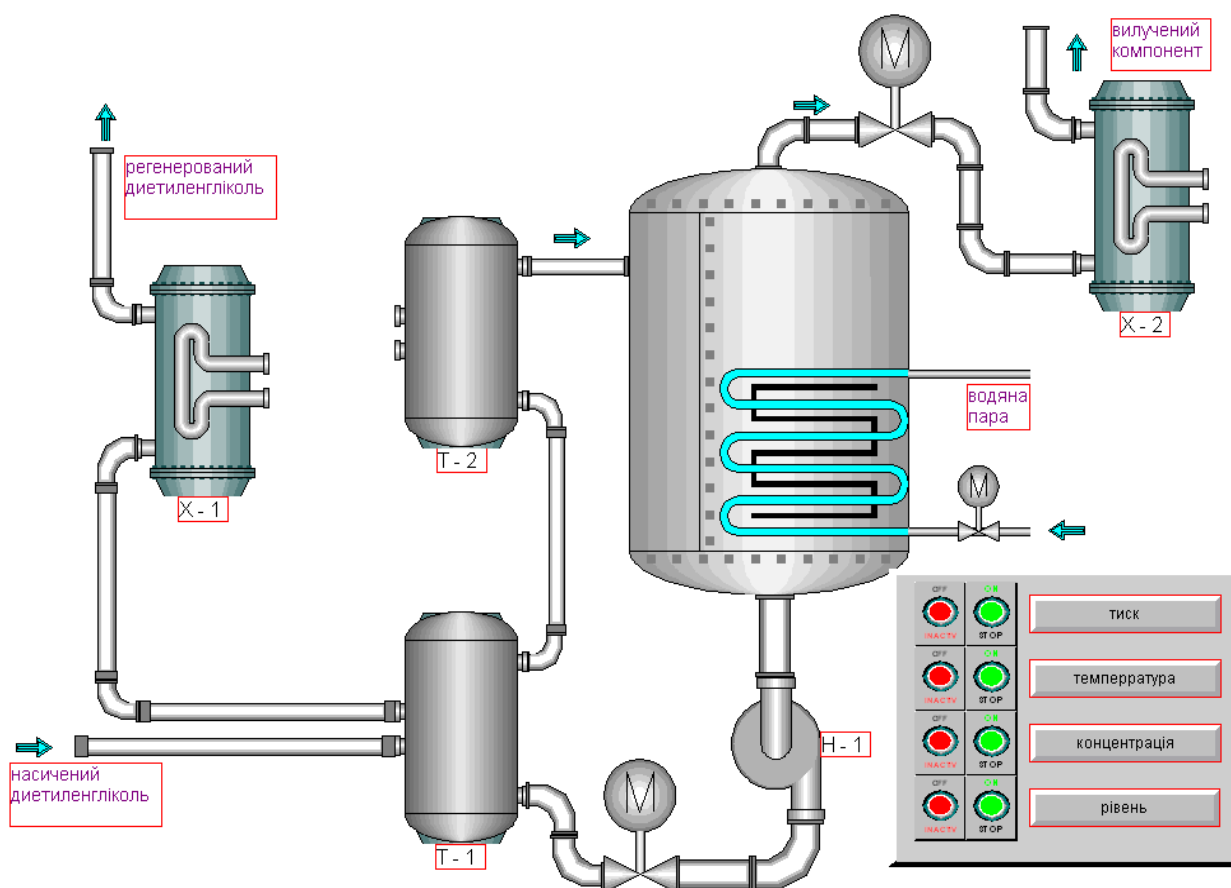


Рисунок 14 – Мнемосхема розробленої системи технологічного процесу регенерації диетиленгліколю з використанням нечіткої логіки

ники якості перехідних процесів. Здійснено експериментальне визначення динамічних характеристик, визначено вхідні і вихідні змінні, та оброблено його результати.

За результатами моделювання встановлено, що перехідні характеристики за каналами відповідають фізичним основам процесу, а їхні показники якості перебувають у допустимих межах. Порівняльний аналіз перехідних процесів за якісними показниками показав що каскадна система регулювання є більш досконалою по відношенню до технологічного процесу регенерації ДЕГу. На основі даних показників видно, що вихідний продукт (ДЕГ) регулюється не безпосередньо, а його якість регенерації залежить від впливу побічних параметрів, одним з яких є температура низу випарної колони.

Створено мнемосхему технологічного процесу регенерації диетиленгліколю.

Література

1 Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.

2 Семенцов Г.Н. Фазі-логіка в системах керування: навчальний посібник / [Семенцов Г.Н., Чигур І.І., Шавранський М.В., Борин В.С.]. – Івано-Франківськ : Факел, 2002. – 50 с.

3 Борин В.С. Математична модель технологічного процесу регенерації диетиленгліколю / [Борин В.С., Тихий А.Б.] // XIII MEZINÁRODNÍ VEDECKO-PRAKTICKÁ KONFERENCE «MODERNÍ VYMOŽENOSTI VĚDY-2017», Praha, 2017. – p. 34-37.

4 Борин В.С. Математичний опис задачі автоматизованого керування процесом абсорбційної осушки газу / В.С. Борин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – 1998. – Вип. 35. – С. 46-50.

5 Борин В.С. Автоматизована система управління технологічним процесом абсорбційної осушки газу на компресорних станціях магістральних газопроводів / В.С. Борин // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Наука і освіта 2004», том 64 Автоматизовані системи управління на виробництві. – Дніпропетровськ, 2004. – С.34-36.

Стаття надійшла до редакційної колегії
08.06.17

Рекомендована до друку
професором **Семенцовим Г.Н.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Мещеряковим Л.І.**
(Національний гірничий університет,
м. Дніпро)