

УДК 004.67

КОВАЛЮК Д. О.\*, ОСПА Р. А., КОНДРАТОВА В. І.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ

*В роботі розглянуто технологічний процес виробництва метанолу за зниженого тиску. Обґрунтовано необхідність розробки моделей для прогнозування аварійних ситуацій та керування теплообмінником. Наведено основні складові Індустрії 4.0. Показано доцільність використання інтернету речей, методів аналізу даних та цифрових двійників для керування процесом виробництва метанолу. На основі наявної інформації розроблено багатofакторну регресійну модель теплообмінника, перевірено її точність та адекватність. Розглянуто алгоритм відбору вагомих факторів технологічного процесу. На основі дерева рішень побудовано модель прогнозування та діагностування аварійних ситуацій по випуску продукції. Виконано програмну реалізацію розроблених моделей.*

**Ключові слова:** виробництво метанолу, аналіз даних, цифровий двійник, регресійна модель, дерево рішень.

**DOI:** 10.20535/2617-9741.4.2021.248902

\*Corresponding author: dmytro.kovalyuk@gmail.com

Received 11 August 2021; Accepted 30 August 2021

**Постановка проблеми.** Функціонування технологічних процесів завжди супроводжується відхиленням від заданого режиму, що пов'язано з впливом багатьох зовнішніх та внутрішніх факторів. Параметри оточуючого середовища, компоненти вхідної сировини, стан технологічного обладнання постійно змінюються, що вимагає розв'язувати задачу знаходження оптимальних параметрів керування, а в деяких випадках і параметрів самого процесу.

Більшість промислових виробництв орієнтовані на отримання кінцевої продукції з заданим рівнем якості. При зміні параметрів технологічного процесу може погіршуватися якість виробів, отримання браку або навіть виникнення аварійних ситуацій. Для уникнення цього використовують методи прогнозування.

Отримати моделі прогнозування процесу або його складових можна різними способами. В багатьох випадках в апаратах протікають складні хімічні реакції, які дуже складно описати аналітичним шляхом. Крім того, навіть якщо математична модель апарату відома у вигляді диференціальних рівнянь чи передатних функцій – все одно параметри об'єкту з часом змінюються, в зв'язку з відкладенням осаду, старінням каталізатору, зміною коефіцієнтів теплопровідності та поверхні теплопередачі. Це вимагає використовувати поточну інформацію з датчиків і здійснювати ідентифікацію моделі об'єкту шляхом обробки експериментальних даних.

Задача побудови прогнозуючих моделей по експериментальним даним актуальна для широкого кола технологічних процесів. В роботі буде наведено прогнозування параметрів технологічного процесу виробництва метанолу за зниженого тиску.

**Аналіз попередніх досліджень.** Сьогодні прогнозуючі моделі широко використовуються в задачах керування, діагностики, ідентифікації. Переважна більшість цих моделей будуються на основі технологій штучного інтелекту або методах математичної статистики.

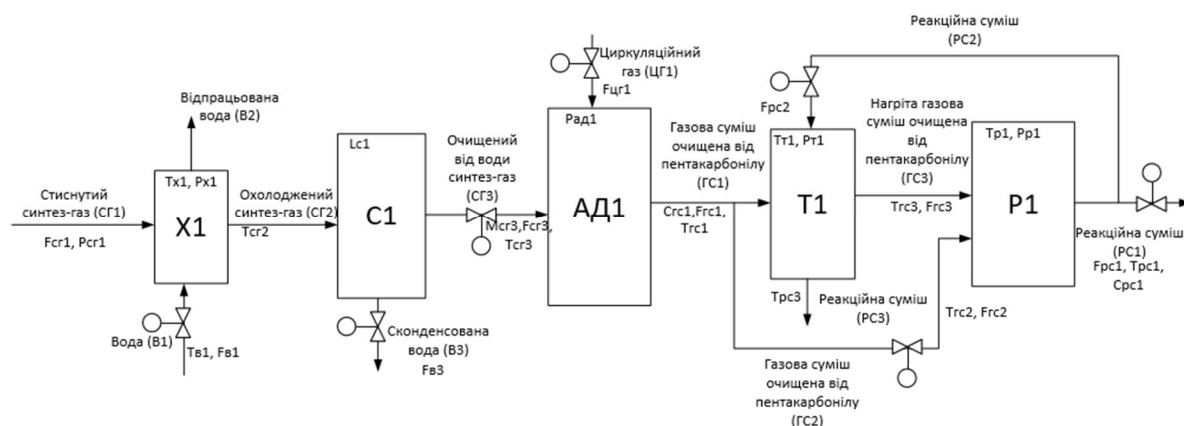
Найбільшого поширення прогнозуючі моделі отримали в таких галузях як банківська сфера, страхування, економіка підприємництва, медицина, діагностика технічних засобів та обладнання, прогнозування параметрів технологічних процесів. В роботах [1,2] запропоновано різні види математичних моделей для прогнозування прибутковості активів підприємств, розглянуто гетероскедастичні та коінтегровані процеси. В роботі [3] описаний алгоритм побудови і використання прогнозуючих моделей на прикладі задачі визначення пасажиропотоку. Останнім часом все більше методів аналізу даних знаходить своє застосування в медичній діагностиці при обробці статистичних даних життєвих показників пацієнта, інформації, представленої в графічному або звуковому вигляді [4-6]. Використання моделей прогнозування також дозволяє оцінити стан технічного обладнання, зробити висновки стосовно профілактичного чи капітального ремонту, спрогнозувати можливість виходу з ладу, розрахувати оптимальні показники керування [7,8].

Незважаючи на відпрацьований алгоритм розробки та застосування моделей, головною проблемою залишається отримання даних, вибір підходящої структури моделі та її інтеграція в існуючі системи керування.

**Метою статті** є підвищення ефективності прийняття рішень в системі керування виробництвом метанолу за зниженого тиску шляхом розробки прогнозуючих моделей з використанням методів аналізу даних.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Виробництво метанолу за зниженого тиску є багатостадійним процесом, і виникнення проблем на певному етапі негативно вплине на подальшу роботу та кінцевий результат. На рис. 1 зображено структурно-параметричну схему установок отримання метанолу за зниженого тиску.



**Рис. 1 – Структурно-параметрична схема установок отримання метанолу:  
X1 – холодильник; C1 – сепаратор; АД1 – адсорбер; Т1 – теплообмінник; Р1 – реактор**

Основними етапами процесу є: охолодження та очищення синтез-газу, підігрівання газової суміші та протікання хімічної реакції. Однією з найбільш важливих стадій є підігрівання суміші в теплообміннику, оскільки підтримання заданого температурного режиму напряму впливає на протікання реакції в наступному апараті. Тому прогнозування роботи теплообмінника та його виходу дозволить підвищити якість керування процесом та виробництвом в цілому.

Зауважимо, що у виробництві метанолу присутні всі проблеми функціонування технологічних процесів, які були описані вище. Тому іншою задачею виступає прогнозування аварійних ситуацій, враховуючи показники всіх стадій процесу. Розробку моделей прогнозування аварійних ситуацій та керування тепловими режимами та подальшу їх інтеграцію в існуючу АСКТП пропонується виконати згідно принципів промислової революції - Індустрії 4.0.

#### **Управління виробництвом метанолу на основі принципів Індустрії 4.0.**

Важливими компонентами Індустрії 4.0 є інтернет речей, аналіз даних та цифрові двійники. Кожна з цих складових вирішує частинну задачу, а в комплексі вони забезпечують повну автоматизацію виробництва, прогнозування показників процесу в реальному часі і розрахунок оптимального керування. Розглянемо процес прийняття рішень на основі Індустрії 4.0. більш детально.

Інтернет речей – використовується для «спілкування» систем, об'єктів, приладів між собою або з людиною. Якщо говорити про виробництво метанолу, то доцільно використовувати промисловий інтернет речей. Процес обміну і збереження інформації починається з встановлених датчиків, контролерів, виконавчих механізмів дані з яких передаються на різні підрозділи для подальшого їх оброблення та вчасного реагування. В ідеальній ситуації автоматизація досягає такого рівня, що функція людини полягає в контролюванні коректної роботи машин та втручанні лише у випадку аварійної ситуації.

При реалізації інтернету речей в наявності опиняються величезні масиви даних, обробка яких дозволяє здійснити пошук закономірностей та побудувати модель об'єкту чи процесу. До базових методів аналізу даних відносять алгоритми основані на переборі. У випадку суттєвого зростання об'єму даних об'єм обчислень зростає по експоненті, що в зумовлює використання спеціальних методів аналізу великих даних (big data). В результаті обробки даних отримуємо моделі об'єктів. Після цього існує можливість «подавати» в моделі реальні дані технологічного процесу. Така модель має назву цифрового двійника, і дозволяє повністю

відтворити роботу реального об'єкту в різних його режимах, спрогнозувати вихід з ладу, погіршення характеристик, час позапланового ремонту.

Сама ідея цифрового двійника не нова: розрахунки і математичні моделі того, як буде поводити себе апарат або обладнання якогось технологічного процесу виконувалися і раніше. Але лише в останні десятиріччя з'явилися достатні обчислювальні потужності, які дозволяють виконувати розрахунки у реальному часі.

Щодо промислових об'єктів, то їх цифрові двійники дозволяють розрахувати оптимальні режими роботи, ставити віртуальні експерименти, які в реальності можуть бути пов'язані з ризиком пошкодити обладнання або отримати продукцію незадовільної якості. Для багатьох галузей, (наприклад нафтогазової) цифрові двійники – є багатообіцяючою технологією враховуючи складність, вартість і географічне розташування об'єктів.

Для того щоб цифровий двійник відповідав реальному прототипу він має бути описаний як можна точніше. Керування відбувається в реальному часі з використанням моделі цифрового двійника. Схема такого керування представлена на рис 2.

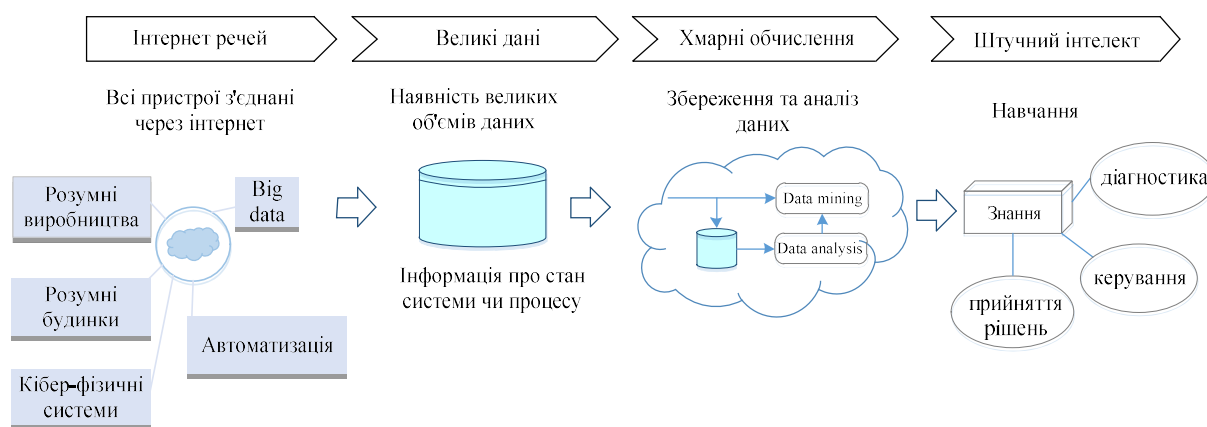


Рис. 2 – Керування технологічними процесами на основі принципів Індустрії 4.0.

Процес виробництва метанолу за зниженого тиску можна повністю автоматизувати відповідно до складових Індустрії 4.0. По-перше, наявні засоби вимірювальної техніки, які дозволяють отримати значення технологічного процесу в часі. По-друге, враховуючи помірну розмірність цих даних можна отримати моделі об'єктів керування, виконати їх програмну реалізацію та використовувати для розрахунку оптимального керування чи прогнозування стану процесу. Так як ми маємо всі необхідні дані для нашого процесу, далі можемо приступити до побудови моделі.

#### Розробка моделі прогнозування температурного режиму

Розглянемо побудову моделі теплового режиму теплообмінника, як цифрового двійника. З літературних джерел відомо, що можна розглядати три частини цифрового двійника [9]:

1. Фізичний продукт в реальному просторі.
2. Віртуальний продукт в віртуальному просторі.
3. Дані та інформація, які об'єднують віртуальний та реальний об'єкт.

В роботі пропонується варіант побудови віртуальної моделі на основі експериментальних даних та подальше її використання з реальними значеннями параметрів технологічного процесу. Об'єктом керування для даного дослідження обрано теплообмінник. У виробництві метанолу за зниженого тиску важливим є підтримання температури синтез-газу перед реактором, так як за неправильної температури реакція за участі каталізаторів буде протікати неправильно. Структурно-параметричну схему теплообмінника для підігріву синтез-газу наведено на рис. 3.

Обраний технологічний процес складний по своїй фізико-хімічній природі та залежить від багатьох як внутрішніх, так і зовнішніх факторів. З часом параметри теплообмінника змінюються, тому використання аналітичної моделі може не забезпечити її адекватність. В такому випадку доцільно буде використати емпіричну модель. В роботі обрано регресійну модель. Регресійний аналіз дозволяє перевірити статистичну значущість параметрів, оцінити адекватність та точність моделі та встановити характер і тісноту зв'язку між досліджуваними явищами.

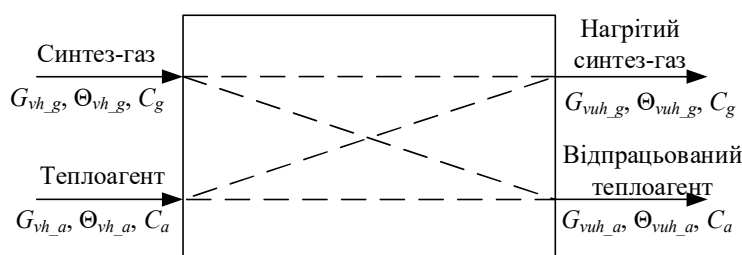


Рис. 3 – Структурно-параметрична схема теплообмінника:

$G_{vh_g}, \Theta_{vh_g}, C_g$  – 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

Вхідними факторами моделі було обрано:

- Витрата теплового агента на вході в теплообмінник – керуючий вплив.
- Температура СИНТЕЗ-газу на вході в теплообмінник - збурення
- Температура теплового агенту на вході в теплообмінник - збурення.

Вихідною величиною моделі є результат керування – температура синтез-газу на виході з теплообмінника.

Розрахунки були виконані за допомогою математичного пакету Mathcad в наступній послідовності:

1. Вхідні фактори моделі перевірено на мультиколінеарність, розраховано парні коефіцієнти кореляції та досліджено зв'язок вхідних факторів між собою та з вихідною величиною.
2. Знайдено коефіцієнти регресії.
3. Перевірено адекватність моделі за критерієм Фішера, аналіз залишків.
4. Розраховано нев'язку моделі.

Так як розрахункове значення критерію Фішера більше за табличне, то модель можна вважати адекватною експериментальним даним. Точність моделі, розрахована як середньоквадратичне відхилення складає – 1,24. Використання регресійної моделі в системі керування виконується шляхом ітераційного дослідження її виходу від входу.

#### Розробка моделі прогнозування браку продукції

Для прогнозування настання аварійних (несприятливих) ситуацій на виробництві необхідно визначити перелік цих ситуацій згідно технологічного регламенту. До аварійних ситуації найвищого рівня відносяться наступні:

- Концентрація метанолу на виході з реактора  $C_{pc1} < 30\%$ ;
- Зниження продуктивності нижче 40000 кг/год;
- Рівень у сепараторі  $L_{c1} > 80\%$  шкали;

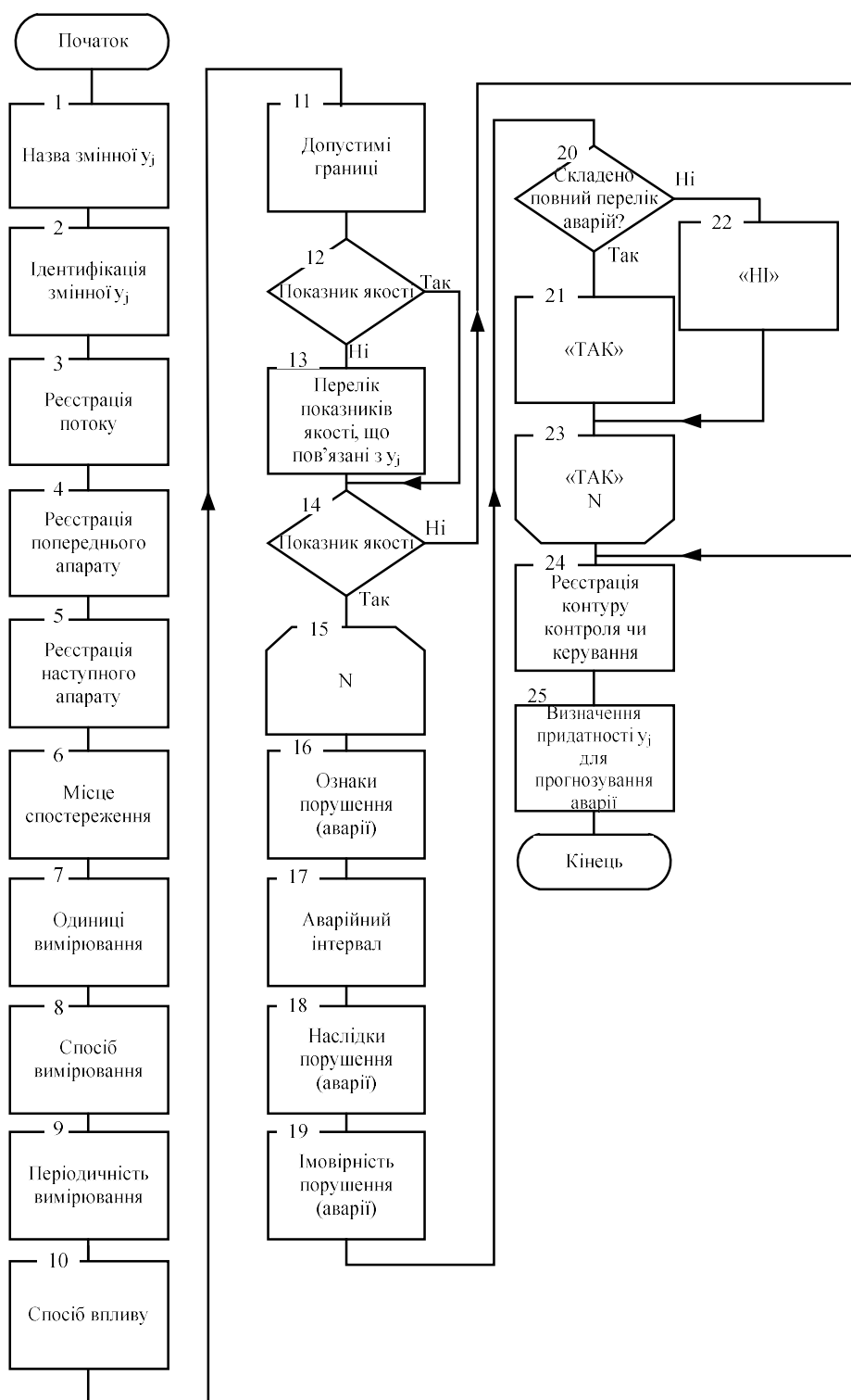
Оскільки процес характеризується великою кількістю параметрів, то постає актуальна задача відбору значимих факторів, які будуть враховані в моделі.

Для цього використовується алгоритм, описаний в роботі [10] і наведений на рис 4. Основними етапами даного алгоритму є:

Обробка початкових даних (надання назв та шифрів змінним, потокам, технологічним апаратам; визначення місця, одиниць, періодичності та способу вимірювання; межі та можливий спосіб зміни технологічної змінної).

Наступним кроком потрібно з'ясувати чи належить змінна до показників якості. Якщо так, то які ознаки порушення, аварійний інтервал, наслідки та яка ймовірність аварії при відхиленні змінної від допустимого діапазону.

Після того як складено повний перелік аварій на останньому етапі потрібно визначити чи включати змінну для прогнозування аварійної ситуації.



**Рис. 4 – Алгоритм відбору значимих факторів для моделі прогнозування**

Згідно з цим алгоритмом була складена база знань, структура якої наведена в таблиці 1. Всього було розглянуто 29 факторів, після обробки – 5 з яких було відібрано для моделі прогнозування та діагностування аварійних ситуацій.

**Таблиця 1 – Структура бази знань про параметри підготовки синтез-газу та отримання реакційної суміші**

Назва змінної	Витрата стисненого синтез-газу	Тиск стисненого синтез-газу	Температура охолодженого синтез-газу	Витрата води	Рівень в конденсаторі
Ідентифікатор	Fcr1	Pcr1	Tcr2	Fv1	Lc1
Реєстрація потоку	CG1	CG1	CG2	B1	C1
Реєстрація попереднього апарату	TK1	TK1	X1	ЦП	X1
Реєстрація наступного апарату	X1	X1	C1	X1	АД1
Місце спостереження	Трубопровід	Трубопровід	Трубопровід	Трубопровід	C1
Одиниці вимірювання	кг/год	МПа	С	кг/год	% шкали
Спосіб вимірювання	Авт	Авт	Авт	Авт	Авт
Періодичність	Неперервно	Неперервно	Неперервно	Неперервно	Неперервно
Допустимі границі	7200-36000	5-9	30-40	7200-36000	40-80
Показник якості	Ні	Ні	Так	Ні	Ні
Показники якості, що пов'язані зі змінною	Температура синтез-газу в холодильнику у X1	Температура синтез-газу в холодильнику X1	Температура синтез-газу CG3	Температура синтез-газу в холодильнику у X1	-
Змінна-причина аварії	Так	Так	Так	Так	Так
Наслідки порушення	Tx1 > 40 С	Tx1 > 40 С	Tcr3 > 40 С	Tx1 > 40 С	Потрапляння води в трубопровід
Імовірність порушення	60%	55%	95%	90%	90%
Включення змінної до моделі прогнозування	-	+	+	-	+

Внаслідок обробки бази знань, основними факторами, що мають бути включені до моделі прогнозування аварійних ситуацій обрано наступні:

1. Витрата та концентрація нагрітої газової суміші на виході з реактору.
2. Витрата газової суміші між шарами каталізатора в реакторі.
3. Концентрація пентакарбонілу в газовій суміші.
4. Вологість синтез-газу після сепаратора.
5. Температура охолодженого синтез-газу;

Після відбору факторів для аварійних ситуацій найвищого рівня за базою знань визначаємо всі можливі гілки дерева та відповідні рішення. Нижче наведено створене дерево рішень для прогнозування аварійних ситуацій процесу виробництва метанолу за зниженого тиску.

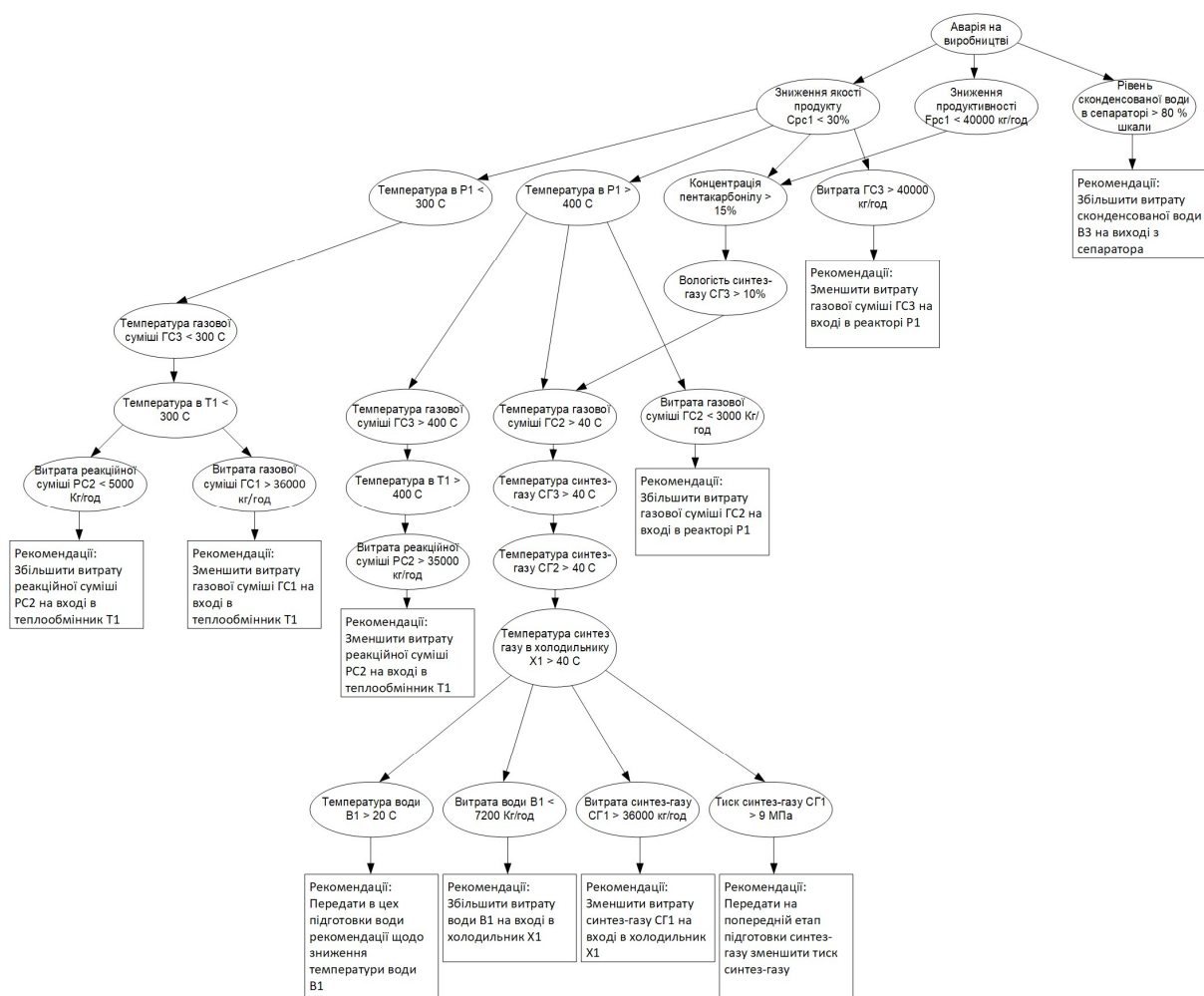


Рис. 5 – Дерево рішень для прогнозування аварійних ситуацій

Фактично, отримане дерево є графічною структурою вербальної (сміслової) моделі міркувань експерта під час вирішення проблем, пов'язаних з виникненням аварійних ситуацій. Це мережева структура, у вузлах якої знаходяться можливі відхилення об'єкта керування від нормального режиму роботи. Отримане дерево використовують для розв'язання задач прогнозування та діагностування.

Для практичного використання здійснено програмну реалізацію дерева рішень, у вигляді набору правил «якщо - то». Програмне забезпечення використовується як елемент системи вищого рівня відносно існуючої АСКТП.

**Висновки.** В роботі показано актуальність розробки прогнозуючих моделей та їх використання для технологічного процесу виготовлення метанолу за зниженого тиску. Наведено місце цих моделей в концепції Індустрії 4.0. На основі статистичних даних побудовано регресійну модель теплообмінника, яка дозволяє розраховувати значення температури синтез газу, в залежності від витрати теплового агенту. Побудовано дерево рішень для прогнозування аварійних ситуацій на виробництві. Виконано програмну реалізацію отриманих моделей.

#### Список використаної літератури.

1. Войцеховська Ю. В. Методи прогнозування розвитку виробничого потенціалу підприємств / Ю. В. Войцеховська, В. В. Войцеховська, А. Л. Висоцький // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – № 725 : Проблеми економіки та управління. – С. 42–48.

2. Шубенкова І. А. Системний підхід до моделювання та прогнозування на основі регресійних моделей і фільтра Калмана / І. А. Шубенкова, С. К. Петрова, П. І. Бідюк // Системні дослідження та інформаційні технології : міжнародний науково-технічний журнал. – 2017. – № 2. – С. 52–61.
  3. Гече, Ф. Розробка методу синтезу прогнозуючої схеми на основі базових прогнозуючих моделей / Федір Гече, Оксана Мулеса, Сандра Гече, Михайло Вашкеба // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – Т. 3, N 2(23). - С. 36-41. – Режим доступу : DOI : 10.15587/2312-8372.2015.44932.
  4. Koundal Deepika, Chaudhury Sushovan, Rakhra Manik, Memon Naz, Sau Kartik “Breast Cancer Calcifications: Identification Using a Novel Segmentation Approach” // Computational and Mathematical Methods in Medicine, - Volume 2021, Article ID 9905808.
  5. R. Bharti, A. Khamparia, M. Shabaz, G. Dhiman, S. Pande, and P. Singh, “Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, Article ID 8387680, 11 pages.
  6. Олійник А.О. Синтез нейро-нечітких моделей для прогнозування стану здоров'я хворого на основі паралельних обчислень: А.О. Олійник // Нейроінформатика та інтелектуальні системи, –№ 2, – 2015, ст. 30-40.
  7. Korotynskiy A. Investigation influence of predict gorizont of mpc-regulator for control of the baking process/ O. Zhuchenko, A. Korotynskiy // Slovak international scientific journal, VOL.1, №37, 2020, P 29-34.
  8. Аулін В.В. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, Т.М. Замота // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №3. – С. 66-73
  9. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. Florida Institute of Technology, 2016
  10. Інтелектуальні системи управління: Експертні системи - основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярошук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.
- 

**Dmytro Kovaliuk, Ruslan Osipa, Victoria Kondratova**

#### **DECISION MAKING IN CONTROL SYSTEMS BASED ON DATA ANALYSIS**

*Technological processes are always accompanied by deviations from the set mode, which is due to the influence of many external and internal factors. The environmental parameters, the components of input raw materials, and the condition of technological equipment are constantly changing, which requires solving the problem of finding the optimal control parameters and, in some cases, the parameters of the process itself.*

*Most industries are focused on obtaining the final product with a given level of quality. Changes in parameters of the technological process may deteriorate the quality of production and cause defects or even emergency situations. To prevent this, forecasting methods are used.*

*The task of constructing predictive models based on experimental data is relevant for a wide range of technological processes. Today, predictive models are widely used in management, diagnosis and identification. The vast majority of these models are based on artificial intelligence technologies or methods of mathematical statistics.*

*The most widespread forecasting models find application in areas such as banking, insurance, business economics, medicine, diagnostics of technical components and equipment, and forecasting the parameters of technological processes.*

*Despite the well-developed algorithm for model development and application, the main problem that remains is to acquire data, select an appropriate model structure, and integrate the model into existing control systems.*

*The paper will predict the parameters of the technological process of methanol production under reduced pressure. The production of methanol under reduced pressure is a multi-stage process, and the emergence of problems at some stage will adversely affect further work and the end result.*

*Note that there are all problems related to the performance of technological processes in the production of methanol, which are described above. Therefore, another task is to forecast emergencies, taking into account the indicators of all stages in the process. The development of models for forecasting emergencies and controlling thermal regimes and their further integration into the existing automatic process control system is proposed to be performed according to the principles of industrial revolution – Industry 4.0.*



*Important components of Industry 4.0 are the Internet of Things, data analysis, and digital duplicates. Each of these components solves a partial problem and, collectively, they provide full automation of production, forecasting of real-time process indicators, and calculation of optimal control.*

*The process of methanol production under reduced pressure can be fully automated in accordance with the components of Industry 4.0. First, there is instrumentation that allows the values of technological process to be obtained over time. Second, given a moderate size of these data, one can obtain models of control objects, perform their software implementation, and use them to calculate optimal control or predict the state of the process.*

*The paper proposes a variant of constructing a virtual model based on experimental data and its further use with actual values of process parameters.*

*A regression model was chosen to develop a model for predicting the temperature regime. Regression analysis allows checking the statistical significance of the parameters, assessing the adequacy and accuracy of the model, and establishing the nature and closeness of the relationship between the studied phenomena.*

*It is also important to predict the occurrence of emergency (adverse) situations at the workplace. For this purpose, it is necessary to determine a list of these situations according to the technological regulations and develop a model for forecasting emergencies. There are various forms of presenting a model for forecasting emergencies. A decision tree is one of them. It will be developed for the production of methanol.*

*The resulting tree is a graphical structure of the verbal (semantic) model relying on the expert's reasoning in solving problems related to emergencies. This is a network structure, whose nodes indicate potential deviations of the control object from the normal mode of operation. The resulting tree is used to solve forecasting and diagnosing problems.*

*For practical use, the decision tree is implemented in software as an "if - then" set of rules. The software is used as an element of a higher-level system in relation to the existing automatic process control system.*

**Keywords:** *methanol production, data analysis, digital twin, regression model, decision tree.*

#### **References**

1. Y. V. Wojciechowska, V. V. Wojciechowska and A. L. Vysotsky (2012) "Methods of forecasting the development of production potential of enterprises". *Visnyk Natsional'noho universytetu "Lviv Polytechnic"*, ser. "Problems of economics and management". No 725, pp. 42-48.
2. I. A. Shubenkova, S. K. Petrova, P. I. Bidyuk (2017) "A systematic approach to modeling and forecasting based on regression models and the Kalman filter". *System research and information technology: an international scientific and technical journal*. No 2, pp. 52-61
3. Fedor Geche, Oksana Mulesa, Sandra Geche, Mykhailo Vashkeba (2015) "Development of a method for the synthesis of a forecasting scheme based on basic forecasting models". *Technological audit and production reserves*. T. 3, no 2, vol. 23, pp. 36-41. DOI : 10.15587/2312-8372.2015.44932.
4. Koundal Deepika, Chaudhury Sushovan, Rakhra Manik, Memon Naz, Sau Kartik "Breast Cancer Calcifications: Identification Using a Novel Segmentation Approach" // *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, - Volume 2021, Article ID 9905808.
5. R. Bharti, A. Khamparia, M. Shabaz, G. Dhiman, S. Pande, and P. Singh, "Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, Article ID 8387680, 11 pages.
6. Oliynyk A. O. (2015) "Synthesis of neuro-fuzzy models for predicting the patient's health based on parallel calculations". *Neuroinformatics and intelligent systems*. No 2, pp. 30-40.
7. Korotynskyi A. Investigation influence of predict gorizont of mpc-regulator for control of the baking process/ O. Zhuchenko, A. Korotynskyi // *Slovak international scientific journal*, VOL.1, №37, 2020, P 29-34
8. V. V. Aulin, A. V. Hryn'kiv, T. M. Zamota (2015) "Ensuring and improving the operational reliability of vehicles based on the use of methods of sensitivity theory". *Visnyk Inzhenernoyi akademiyi Ukrayiny*. No 3, pp. 66-73.
9. Grieves M. *Origins of the Digital Twin Concept*. Florida Institute of Technology, 2016
10. Yaroshchuk L. D. (2019) "Intelligent control systems: Expert systems - the basics of design and application in automation systems [Electronic resource]: a textbook for students majoring in 151 "Automation and computer-integrated technologies"". Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, p. 136.