

# Техніка і технології

УДК 681.518.5

DOI: 10.31471/1993-9973-2018-2(67)-7-13

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТИ НА ЗАСАДАХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

О.В. Кучмистенко

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 246067,  
e-mail: kafatr@ukr.net

*Досліджено актуальну науково-практичну задачу, яка полягає в аналізі існуючих та розробки нових способів і методів оцінки технічного стану магістральних нафтопроводів, що забезпечить безпечне автоматизоване управління нафтотранспортної системи. Визначено, що в умовах інтенсивного старіння основних фондів нафтотранспортних систем та фінансового обмеження, комплексне технічне діагностування магістральних нафтопроводів стає найбільш ефективним засобом, що забезпечує надійність і безпеку усєї нафтотранспортної системи. Саме тому розробка нових і перспективних засобів контролю і управління на основі штучного інтелекту є актуальною науково-практичною задачею за результатами якої визначено основні наукові проблеми, що вимагають подальших досліджень.*

Ключові слова: магістральний нафтопровід, система автоматичного контролю, об'єкт керування, інтелектуальна труба.

*Исследована актуальную научно-практическую задачу, которая заключается в анализе существующих и разработки новых способов и методов оценки технического состояния магистральных нефтепроводов, который обеспечит безопасное автоматизированное управление нефтетранспортной системы. Определено, что в условиях интенсивного старения основных фондов нефтетранспортных систем и финансового ограничения, комплексное техническое диагностирование магистральных нефтепроводов становится наиболее эффективным средством, обеспечивающим надежность и безопасность всей нефтетранспортной системы. Именно поэтому разработка новых и перспективных средств контроля и управления на основе искусственного интеллекта является актуальной научно-практической задачей по результатам которой определены основные научные проблемы, требующие дальнейших исследований.*

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, система автоматического контроля, объект управления, интеллектуальная труба.

*The actual scientific and practical task, which consists in the analysis of existing and development of new methods and methods for assessing the technical condition of main oil pipelines, which will ensure safe automated management of the oil transportation system, is researched. It has been determined that in conditions of intensive aging of fixed assets of oil transportation systems and financial constraints, comprehensive technical diagnostics of main oil pipelines becomes the most effective means ensuring the reliability and safety of the entire oil transportation system. That is why the development of new and promising means of control and management on the basis of artificial intelligence is an actual scientific and practical task, the results of which identify the main scientific problems that require further research.*

Key words: main oil pipeline, automatic control system, control object, intellectual pipe.

**Вступ.** На сьогодні значна частка нафти і нафтопродуктів транспортується магістральними трубопроводами тому особлива увага приділяється підвищенню ефективності транспортування. Основними контрольними параметрами трубопроводу є тиск і витрата транспортованого продукту, швидкість перекачування, а також пропускна спроможність трубопроводу. Для підтримання оптимального тиску в трубопро-

воді застосовуються електроприводи. Враховуючи значну протяжність трубопроводу потрібне використання декількох електроприводів на одній ділянці. Однак кожен з них вносить різного роду збурення, що ускладнює управління потоком рідини в трубопроводі. І якщо питання розроблення системи управління певною кількістю електроприводів на одній ділянці є вирішеним, то питання діагностування тех-

нічного стану магістрального нафтопроводу є недостатньо вивченим і дослідженим. Отже, удосконалення системи управління певною кількістю ділянок нафтопроводу є дуже актуальним завданням.

Автоматичний контроль складним багатовимірним об'єктом (зокрема визначення місць аварійної розгерметизації трубопроводу) в процесі експлуатації МН у різних режимах перекачування пов'язаний з прийняттям рішень в умовах нестаціонарності і нелінійності змін основних параметрів перекачування – тиску і витрати. За останні роки додалась проблема, пов'язана з експлуатацією трубопроводів під діями постійних і короточасних або тимчасових навантажень. У таких умовах елементи трубопроводів відчувають силовий вплив від зовнішніх факторів, що призводить до виникнення напруженого стану матеріалу. Спільна деформація підземного трубопроводу і ґрунтового масиву в ускладнених умовах є маловивченою проблемою і часто призводить до аварійних руйнувань трубопроводу. Небезпечні природні впливи можуть змінити працездатність нафтопроводів, що створить потенційну загрозу для населення і навколишнього середовища, призведе до значних економічних втрат [1].

**Постановка завдання:** дослідження та аналіз застосування нових способів і методів оцінки технічного стану магістральних нафтопроводів, що забезпечить безпечне автоматизоване управління нафтотранспортної системи.

**Метою даної роботи** є створення інтелектуальної системи автоматизованого управління багатовимірними об'єктами, зокрема безпечна експлуатація лінійної частини магістрального нафтопроводу на засадах з використанням гібридних систем обчислювального інтелекту.

**Об'єктом дослідження** є процес моніторингу ділянки магістрального нафтопроводу в автоматичному режимі на засадах гібридних систем обчислювального інтелекту.

**Результати:** досягнення вказаної мети забезпечується вирішенням таких завдань: дослідження та аналіз методів і способів сучасних систем керування і контролю нафтотранспортних систем; Теоретичні дослідження у напрямку удосконалення існуючих методів контролю; вибір способу реалізації сформульованих завдань за допомогою інтелектуальних технологій.

Технічний прогрес у розвитку нафтової і газової промисловості вимагає створення автоматичних систем керування – виключно високим точності, швидкодії, продуктивності, надійності. Такі автоматичні системи мають реалізувати умови вискоелективного процесу шляхом зміни параметрів, а іноді й структури об'єкта керування (ОК). У зв'язку з цим подальший розвиток теорії і практики автоматичного керування вбачається у пошуку і виявлення

оптимальних можливостей систем, які здатні функціонувати за умов апріорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта керування під впливом завад. Під час розроблення і дослідження автоматичних систем керування (АСК) технологічними процесами (ТП), які є основними об'єктами вивчення технічної кібернетики, виникають різні проблеми, що потребують вирішення. Однією з таких проблем є необхідність пристосування системи до умов роботи, що змінюються в часі, до зміни її параметрів за переважно апріорно невідомим законом, до випадкового характеру впливу навколишнього середовища тощо.

Для сучасного стану розвитку промислової автоматики характерним є ряд важливих особливостей, що зумовлюють необхідність застосування принципово нових методів автоматичного керування. Однією з основних особливостей є те, що об'єктом керування у сучасній АСК є не окремий технічний пристрій або технологічна операція, а ціла технічна система (сукупність пристроїв, апаратів, машин) або цілий технологічний процес, у якому відбуваються складні перетворення та взаємодія енергетичних, матеріальних і інформаційних потоків в умовах апріорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури ОК. Як правило, функціонування ОК здійснюється під впливом зовнішніх завад. Стан такого складного ОК як динамічної системи, характеризується десятками, а іноді сотнями фізичних величин – тисками, масовими витратами, температурами, зусиллями, вібропереміщеннями, швидкостями, концентраціями та ін. У задачах керування ці фізичні величини фігурують або як вихідні змінні ОК, що характеризують якість продукції, або як вхідні змінні (режимні параметри), що характеризують умови (режими) його функціонування.

Прикладами складних ОК в нафтовій і газовій промисловості є бурові установки, за допомогою яких здійснюється буріння нафтових і газових свердловин роторним способом, турбобурами або електробурами; технологічні комплекси видобування, підготовки і внутрішньопромислового транспортування нафти та попутного газу; насосні станції; компресорні станції; газоперекачувальні агрегати; установки осушення газу; сепараційні установки; газопереробні заводи; установки комплексної підготовки газу та ін. Особливостями сучасних ОК є також велика одинична потужність технологічних агрегатів, великі швидкості процесів, а також високі вимоги до швидкодії та точності керування, до безпеки персоналу, збереження обладнання та навколишнього середовища.

Надійне, ефективне і безпечне функціонування складних ОК галузі може бути забезпечене за допомогою лише найбільш досконалих методів та засобів керування, а також комп'ютерно-інтегрованих технологій на основі сучасних мікропроцесорів і персональних комп'ютерів.

Автоматизація неперервних технологічних процесів у нафтовій і газовій промисловості



Рисунок 1 – Основні методи моніторингу деформації, напруги або пошкодження ділянок трубопроводу

має свої специфічні особливості: наявність елементів з розподіленими параметрами (колона бурильних труб, лінійна частина трубопроводів); апіорна та поточна невизначеність параметрів і структури ОК; відсутність достатньо повних апіорних даних про ОК; нестационарність збурювальних впливів; точні кількісні характеристики яких важко, а інколи неможливо вимірювати у реальному часі; вплив людського фактору та суб'єктивності будь-яких оцінок і рішень людини-оператора в керуванні ОК в інтерактивних режимах; необхідність забезпечення високої точності та мінімальної тривалості перехідних процесів; нестационарність математичних моделей різних приводів (електричного, газотурбінного та ін.) як ОК; обмеження температури нагрівання приводних двигунів, фізичні обмеження деяких фазових координат та ін. Одним із можливих шляхів побудови високоефективних САК неперервними технологічними процесами є застосування автоматичних керуючих пристроїв (регуляторів) для здійснення оптимального перебігу процесів керування в умовах невизначеності або неповноти інформації про умови роботи системи. Розвиток теорії і практики побудови регуляторів відображені в роботах зарубіжних і українських вчених Стефані Е. П., Ротача В. Я., Лукаса В. А., Кондратенка Ю. П., Сидоренка С. А., Гостева В. І., Зайченка Ю. П., Поспелова Д. А., Ротштейна О. П., Панько М. А., Hampel R., Zadeh L., Pivonka P., Usenko V., Arakelian E., Ait Ali Yahia, Benlefkі F. та ін.

Сьогодні одним із можливих шляхів побудови високоефективних САК з урахуванням умов невизначеності є застосування методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки, а також штучних нейронних мереж та генетичних алгоритмів для синтезу алгоритмів функціонування цифрових контролерів.

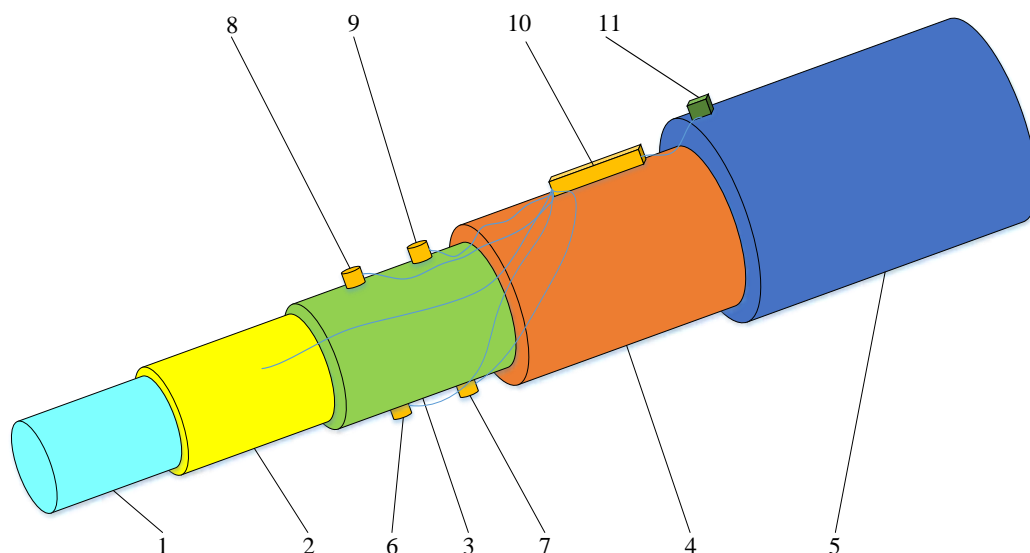
**Аналіз засобів і методів моніторингу стану підземних магістральних нафтопроводів.** Згідно з проведеним аналізом відмов магістральних нафтопроводів, які працюють в ускладнених інженерно-геологічних умовах, було встановлено, що основними факторами, які викликають істотні пошкодження трубопроводів, є геологічні та гідрологічні природні явища, а також несанкціоноване втручання людини.

Дані фактори створюють ускладнення, що діють короткочасно або тимчасово, які важко спрогнозувати на етапах проектування [2]. Відомо, що локальні ділянки трубопроводів з підвищеними напруженнями є кращими для процесів деградації функціональних властивостей матеріалу за рахунок деформаційного старіння і малоциклової втоми металу, які з часом призводять до критичного стану матеріалу і, як наслідок, зниження працездатності труб [3].

Сказане зумовлює необхідність періодичної оцінки (моніторингу) стану стінок труб з метою оперативного застосування превентивних заходів. Однак у світовій практиці відсутні обґрунтовані рекомендації щодо застосування тих чи інших методів визначення аварійного стану ділянок підземних магістральних трубопроводів, розробка яких є важливою науково-технічною задачею.

Сьогодні відома досить велика кількість методів, що дозволяють з певною точністю оцінити деформації, напруги або пошкодження (ДНП) в конструкції трубопроводу [4]. Однак, не всі із зазначених методів застосовні для дистанційного моніторингу ДНП стінок трубопроводів, проведення якого є пріоритетним завданням при експлуатації нафтопроводів в складних умовах [5].

Методи дистанційної оцінки та моніторингу ДНП можна поділити на дві великі групи (рис. 1).



1 – герметизуючий шар (поліетилен, резина); 2 – склопластиковий силовий шар;  
 3 – шар з тонкої металевої проводки, що контролює цілісність самої труби;  
 4 – шар давачів та пристроїв моніторингу і зв'язку; 5 – захисний шар; 6 – давач температури;  
 7,8 – ультразвуковий витратомір; 9 – давач тиску; 10 – мікроконтролер з модулем зв'язку;  
 11 – коробка з'єднання з наступною трубою

**Рисунок 2 – Будова інтелектуальної труби магістрального нафтопроводу**

Сучасні системи моніторингу технологічного стану магістрального нафтопроводу мають бути забезпечені високоефективними засобами оброблення сигналів в режимі on-line з великою швидкістю значних обсягів різноманітної інформації для прийняття управлінських рішень [1]. Зрозуміло, що такі рішення мають бути не тільки адекватними в певній ситуації, а і з певними можливостями прогнозування. Однак адекватність і відповідна ефективність прийняття управлінського рішення чи то в автоматичному режимі, чи то оператором, залежить від якості первинного сигналу, який формується і надходить до інформаційної системи завдяки давачеві (перетворювачу) фізичної, хімічної чи іншої величини (параметра), тобто так званім периферійним обладнанням цих систем.

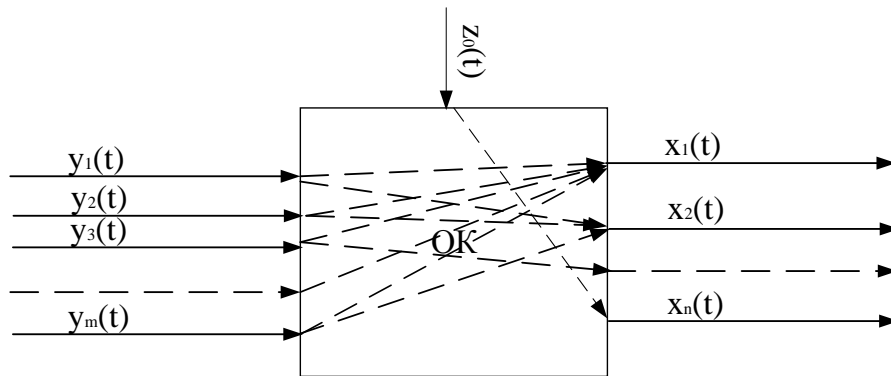
Для кардинального підвищення ефективності інформаційних систем оброблення інформації в засобах моніторингу технологічного стану магістрального нафтопроводу постає проблема створення інтелектуальної труби з вбудованими датчиками нового покоління, які б максимально точно відображали контрольований параметр (величину) у вигляді первинного електричного сигналу в реальному масштабі часу і були інтегровані в інформаційну систему, а остання була б удосконалена в можливості сприйняття і оброблення сигналів по кількох каналах одночасно (рис. 2).

Інтелектуальні системи, що включають електронний вимірювальний канал, є послідовністю функціональних ланок (вимірювальних перетворювачів), які зв'язують чутливий елемент мікроелектронного давача з засобами інтелектуального оброблення отриманої інформації (мікроконтролером) [2,3]. Мікроелектронний давач може бути конструктивно відо-

кремлений від інших вимірювальних перетворювачів, або може включати вторинний аналоговий та аналого-цифровий вимірювальні перетворювачі, а також мікроконтролер, що керує процесом вимірювань і виконує підготовку даних для інтелектуального оброблення. Таким чином, в сучасних інтелектуальних системах мікроелектронний давач як джерело первинної інформації, є невід'ємною і ключовою ланкою інтегрованого комплексу апаратних і програмних засобів. У загальному вигляді спрощену схему перетворень вимірювального каналу інтелектуальної системи схематично показано на рисунку 3.

Спроектвані давачі мають мати не тільки високі метрологічні характеристики, але й високу пожежо-, вибухобезпеку, стійкість, часову і температурну стабільність та надійність. Встановлені давачі хімічних величин (газові), давачі тиску і температури як для окремого так і для одночасного вимірювання такі давачі можуть працювати в екстремальних умовах, і їх можна використати у спецтехніці для контролю параметрів середовищ замкнених об'ємів (температура, витрата, тиск).

Об'єкт управління – це технологічний процес перекачування нафти, в який входить сукупність технічних засобів (машин, апаратів, пристроїв), які виконують технологічний процес, але при цьому потребують спеціально організованих впливів ззовні для досягнення поставленої мети керування. Неможливо уявити повноцінне управління процесом перекачування нафти без надійної роботи системи моніторингу лінійної частини МН. В нашому випадку об'єкт керування ОК має декілька вхідних  $u = 1, 2, \dots, m$  і вихідних  $x = 1, 2, \dots, n$  параметрів, тому його називають багатовимірним (рис. 3) [6].



$y_1(t) \dots y_m(t)$  – значення контрольованих параметрів тиску, витрати температури, цілісності труби і т.д.;  $z_0(t)$  – зовнішні сили і перешкоди, що впливають на експлуатацію труби;  
 $x_1(t) \dots x_n(t)$  – значення параметрів, які дають інформацію про стан труби і процес перекачування в ній (тиск, температура, витрата, пошкодження і деформації)

**Рисунок 3 – Структура інформаційних потоків багатовимірною ОК типу МІ–МО (multi input – multi output)**

На рис. 3 показано лише зв'язки  $x_k$  і  $y_l$  з усіма іншими, хоча загалом кожна вхідна змінна пов'язана з кожною вихідною змінною.

Якщо взаємозв'язки по всіх каналах  $x_k - y_l$  лінійні або лінеаризовані, тоді загалом таку динамічну ланку можна описати такою системою неоднорідних диференціальних рівнянь вигляду

$$\sum_{i=1}^n D_{il}(s)y_i(t) = \sum_{k=1}^m K_{ik}(s)x_k(t), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де  $D_{il}(s)$  і  $K_{ik}(s)$  – вихідні і вхідні диференціальні оператори у вигляді степеневих поліномів.

Систему (1) можна записати більш компактно у вигляді одного векторного диференціального рівняння

$$D(s)\bar{y}(t) = K(s)\bar{x}(t), \quad (2)$$

де  $\bar{y}(t)$ ,  $\bar{x}(t)$  – вектори вихідних і вхідних змінних, що представлені у вигляді матриць-стовпчиків

$$\bar{y} = [y_1, y_2, \dots, y_l, \dots, y_n]^T,$$

$$\bar{x} = [x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m]^T,$$

$T$  – символ транспонування матриць;

$D(s)$  і  $K(s)$  – матриці операторів

$$D(s) = \begin{bmatrix} D_{11}(s) & \dots & D_{1n}(s) \\ \dots & \dots & \dots \\ D_{n1}(s) & \dots & D_{nn}(s) \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$K(s) = \begin{bmatrix} K_{11}(s) & \dots & K_{1m}(s) \\ \dots & \dots & \dots \\ K_{n1}(s) & \dots & K_{nm}(s) \end{bmatrix}.$$

Зауважимо, що у більшості реальних конструктивних елементів кожна вихідна змінна  $y_l$  залежить лише від вхідних змінних  $x_k$  і не пов'язана рівняннями з іншими вихідними змінними. У цьому випадку матриця  $D(s)$  діагональна. Якщо ж хоча б між двома вихідними змінними існує внутрішній зв'язок, наприклад, між  $y_l$  і  $y_n$ , як це показано на рис. 3, то  $D(s)$  вже не діагональна.

Якщо переписати векторне диференціальне рівняння (2) у зображеннях за Лапласом за нульових початкових умов

$$D(s)\bar{y}(s) = K(s)\bar{x}(s), \quad (4)$$

то можна визначити матрицю функцій передачі досліджуваної ланки

$$W^*(s) = \begin{bmatrix} W_{11}(s) \dots W_{1m}(s) \\ \dots \\ W_{n1}(s) \dots W_{nm}(s) \end{bmatrix} =$$

$$= D^{-1}(s)K(s) = \frac{\tilde{D}(s)K(s)}{|D(s)|}, \quad (5)$$

де  $D^{-1}(s)$  – матриця, обернена щодо матриці  $D(s)$ ;

$\tilde{D}(s) = [\tilde{D}_{il}(s)]^T$  – приєднана матриця для  $D(s)$ ;

$\tilde{D}_{il}(s)$  – алгебраїчне доповнення елементів  $D_{il}(s)$ .

Елементи матриці  $W^*(s)$  – це функції передавання  $W_{lk}(s)$  окремими каналами  $x_k - y_l$ . Якщо матриця  $D(s)$  діагональна, тобто ліва частина рівняння (1) містить лише одну складову зі змінною  $y_l$ , то функції передачі по окремих каналах можна визначити простіше, використовуючи визначення поняття функції передачі

$$W_{kl}(s) = \frac{Y_l(s)}{X_k(s)} = \frac{K_{lk}(s)}{D_{ll}(s)}, \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Згідно з принципом суперпозиції кожен вихідну змінну ланки можна розглядати як суму (рис. 4)

$$Y_l(s) = \sum_{k=1}^m W_{lk}(s)X_k(s), \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Використовуючи поняття функції передачі багатовимірної ланки (5), її алгоритмічну структуру, що наведена на рис. 4 можна замінити схемою (рис. 5), якій відповідає операторне рівняння

$$\bar{Y}(s) = W^*(s)\bar{X}(s).$$

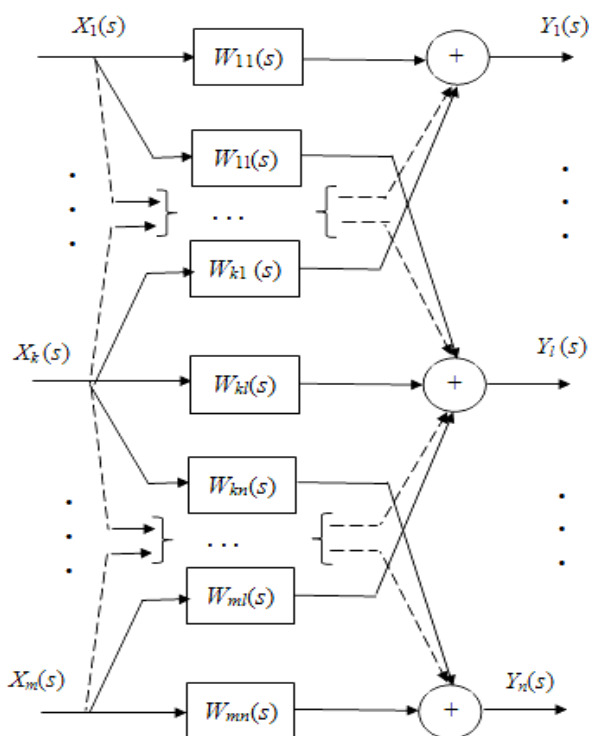


Рисунок 4 – Алгоритмічна структура багатовимірної ланки у вигляді традиційної моделі МІ–МО

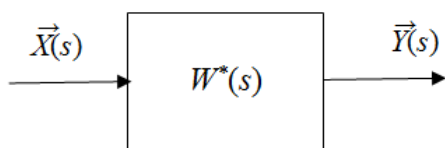


Рисунок 5 – Спрощена схема структури багатовимірної ланки, що наведена на рис. 3

Якщо об'єкт керування двовимірний, наприклад ділянка трубопроводу, то застосовують *P*-канонічну структурну схему (рис. 6) і *V*-канонічну структурну схему (рис. 7). Тут  $Y_1(s)$ ,  $Y_2(s)$  – входи об'єкта керування, а  $X_1(s)$ ,  $X_2(s)$  – виходи об'єкта керування.

У *P*-канонічній структурі кожен вхід діє на всі виходи, а точки сумування розташовані на виходах об'єкту. Тоді ОК можна описати матричним рівнянням:

$$\begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{21}(s) \\ W_{12}(s) & W_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Особливістю *V*-канонічної структури є те, що кожен вхід впливає тільки на відповідний вихід, а кожен вихід – на інші входи. Ця структура дозволяє описати лише такі ОК, у яких кількість входів дорівнює кількості виходів.

*V*-канонічні двовимірні об'єкти описують матричним рівнянням (9).

Оскільки *V*-форма перетворюється у *P*-форму, тому частіше використовують *P*-форму.

$$\begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & 0 \\ 0 & W_{22}(s) \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & W_{21}(s) \\ W_{12}(s) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{bmatrix} \right\}. \quad (9)$$

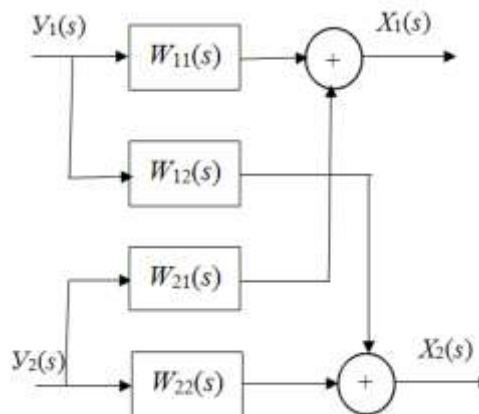


Рисунок 6 – *P*-канонічна структурна схема ділянки трубопроводу

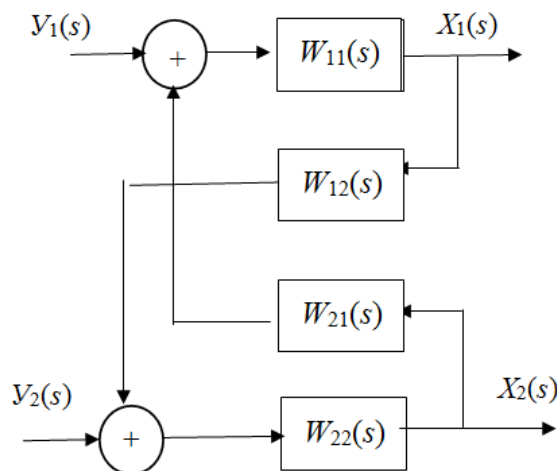


Рисунок 7 – *V*-канонічна структурна схема ділянки трубопроводу

На базі нових принципів побудови інтелектуальних труб з мікропроцесорним моніторингом технологічних параметрів створено методи та засоби вимірювань усіх можливих параметрів трубопроводу у широкому діапазоні їх значень та частоти тестових сигналів. Необхідно буде вирішити принципове питання стосовно побудови універсальних вимірювальних кіл, нейтралізації впливу нестабільних неінформативних параметрів їх елементів у вигляді опор, індуктивності і ємності, виконання цифрового оброблення результатів вимірювань, у тому числі коригування похибок. Створити уніфіковані апаратно-програмні засоби для реалізації серійно спроможних, надійних і конкурентоспроможних систем різних типів інтелектуального рівня.

**Висновок.** Перевірено на практиці алгоритми функціонування та метрологічні характеристики базових модулів, призначені для побудови інтелектуальних систем для наукових досліджень і промислово-технологічних потреб

Вони відрізняються від відомих зразків провідних світових виробників значно ширшими функціональними можливостями, діапазонами вимірювання та робочих частот, більш високими розрізнявальною здатністю і точністю.

Наведені вище результати створення мікроелектронних датчиків нового покоління, інтегрованих в інтелектуальні системи, дають підстави стверджувати, що їх використання в системах озброєння дозволять суттєво підвищити їх ефективність як в технічному відношенні, так і з точки зору адекватності прийняття управлінських рішень, особливо в складних умовах при одночасній дії багатьох факторів.

### Література

1 Семенцов Г.Н. Автоматизація неперервних технологічних процесів. Регулятори: навчальний посібник / Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 201 с.

2 Семенцов Г.Н. Фаззі-модель для імітаційного моделювання несанкціонованого витікання нафти з нафтопроводу / Г.Н. Семенцов, О.В. Кучмистенко // Академический вестник. – Кривой Рог. – 2004. – № 13. – С. 84-86.

3 Sementsov G. N., Chugur I. I. Fuzzy identification of rock layers with anomalous pressure. // Proceeding of Third Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT) – Zittay (Germany). – 2003. – P. 570-573.

4 Семенцов Г.Н. Автоматизація виробничих процесів транспорту нафти і газу: [навч. посібник] / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, М.М. Дранчук, В.С. Борин. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 265 с.

5 Семенцов Г.Г. Інтелектуальні системи керування технологічними процесами: [навч. посібник] / Г.Н. Семенцов, Ю.Б. Головата. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2012. 173 с.

6 Семенцов Г.Н. Сучасні тенденції побудови автоматичних систем управління в промисловості / Г.Н. Семенцов // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія «Технічна кібернетика і електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу». – 1999. – Вип. 86 (том 6). – С.3-12.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
30.05.18

Рекомендована до друку  
професором **Горбійчуком М.І.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук **Воцинським В.С.**  
(ТОВ СКБЗА, м. Івано-Франківськ)