

УДК 004.942

Олександр Литвин

## МЕТОДОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ РОБОТИ ГПА

Александр Литвин

## МЕТОДОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГПА

Olexandr Lytvyn

## METHODOLOGIES OF DIAGNOSIS AND CONTROL OF GPU

Проаналізовано роботу газоперекачувальних агрегатів (ГПА), зокрема аналіз їхніх відмов, відмовостійкості системи автоматичного керування з метою напрацювання рекомендацій щодо створення систем автоматизованого діагностування, призначеного для запобігання вимушених змін режиму роботи ГПА, зокрема зупинок через відмови вимірювальних каналів та сигналізаторів, що також дозволить ручне встановлення недостовірності будь-яких вимірюваних параметрів та дискретних сигналізаторів для технічного обслуговування відповідних каналів без зупинення ГПА. Розглянуто відомі методи вирішення досліджуваної проблеми. Визначено подальші напрямки дослідження.

**Ключові слова:** газоперекачувальні агрегати, система автоматичного діагностування, відмовостійкість, відмови вимірювальних каналів, сигналізаторів, режими роботи ГПА.

Рис.: 1. Бібл.: 16.

Проанализирована работа газоперекачивающих агрегатов (ГПА), в том числе анализ их отказов, отказоустойчивости системы автоматического управления с целью выработки рекомендаций по созданию систем автоматизированного диагностирования, предназначенного для предотвращения вынужденных изменений режима работы ГПА, в частности остановок из-за отказов измерительных каналов и сигнализаторов, что также позволяет ручное установление недоверности любых измеряемых параметров и дискретных сигнализаторов для технического обслуживания соответствующих каналов без остановки ГПА. Рассмотрены известные методы решения исследуемой проблемы. Определены дальнейшие направления исследования.

**Ключевые слова:** газоперекачивающие агрегаты, система автоматического диагностирования, отказоустойчивость, отказы измерительных каналов, сигнализаторов, режимы работы ГПА.

Рис.: 1. Библ.: 16.

In the article the work of gas pumping units (GPU) has been analysed, including the analysis of their failure, the failover of an automatic diagnostics system with a view to developing recommendations on the creation of automated diagnosis, aimed at preventing the forced change of GPU mode, including stops due to failure of measurement channels and detectors, that also allows manual setting of unreliability of any measured parameters and discrete detectors for maintenance of appropriate channels without stopping GPU. Known methods of solving problems have been investigated. The further areas of research have been identified.

**Key words:** gas pumping units, automatic diagnostics system, fault tolerance, refusal of measuring channels, sensors, mode of GPU.

Fig.: 1. Bibl.: 16.

**Постановка проблеми.** Призначення газотранспортної системи (ГТС) України полягає в забезпеченні надійного та безперебійного транзиту природного газу від країн постачальників до країн імпортерів та подачі газу внутрішнім споживачам. Основними елементами ГТС є магістральні газопроводи, газорозподільні, газовимірювальні станції, підземні сховища та компресорні станції з комплектом основного та допоміжного обладнання. Використовуються системи централізованого контролю й управління (СЦКУ) типу Кварц-2М та система керування загальностанційними та режимними кранами Вега-2М. Сучасний розвиток технології подачі та оброблення інформації висуває до існуючих систем керування та діагностування нові вимоги: впровадження сучасного діагностичного автоматичного комплексу (ДАК) КЦ у складі системи автоматичного керування (САК) КЦ з урахуванням функцій дистанційного контролю параметрів, стану обладнання, а також керування основним технологічним обладнанням з верхнього рівня – автоматизованого робочого місця (АРМ) системного інженера, що істотно вплине на надійність і безвідмовність роботи ГТС України.

Встановлення ДАК ГПА у складі САК КЦ даватиме можливість оперативно відслідковувати роботу ГПА, аналізувати і відстежувати передаварійні ситуації, що приведе до скорочення річних витрат паливного газу та скорочення витрат газу під час транспортування за рахунок своєчасного втручання в роботу ГПА, а також скорочення кількості

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

аварійних зупинок за рахунок впровадження нових алгоритмів із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Надійність роботи ГПА впливає на режим роботи газопроводу, від якого залежить безперебійна поставка газу споживачам, а також транспортування через територію України. Дослідженню завдань підвищення надійності енергетичного обладнання та трубопровідних систем у різний час були присвячені роботи С. П. Зарицького, В. А. Іванова, В. А. Острейковського, Е. А. Ларіна, П. Г. Антропова, О. Н. Долинина, А. К. Кузьміна, А. Ю. Шварца та ін. Особливої уваги заслуговує дослідження, спрямоване на підвищення інформативності та достовірності параметрів С. В. Єпіфанова, М. В. Шевченка [16], в їхній статті було розглянуто проблему невимірюваних параметрів ГТД шляхом статистичного аналізу вимірюваних в умовах зміни технічного стану двигуна і недостатністю інформації про цю зміну, викликану обмеженими можливостями вимірювальної системи. Один з провідних підходів приводить Д. С. Легконогих, який наводить опис підходу до технічної діагностики авіаційних силових установок із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж. Застосування такої системи діагностики дозволить виявляти відмови двигунів на ранніх стадіях і запобігати їх. Водночас аналіз публікацій вказує на недостатній рівень досліджень у напрямку безвідмовності систем автоматичного діагностування в умовах відмови або недостовірності в роботі аналізаторів, каналів зв'язку. Нині в Україні працює велика кількість ГПА різних типів. Найбільш уживаними є ГПА із газотурбінним приводом з вільною силовою турбіною та відцентровим нагнітачем. У процесі експлуатації газопроводу значно змінюється тиск та температура на вході в нагнітач, витрата газу, кількість паралельно працюючих ГПА, що викликає відповідні зміни режимних параметрів на виході компресорної станції. Режим роботи нагнітача постійно змінюється в режимі експлуатації. Це викликано змінами витрати газу, складу газу, умовами навколишнього середовища, а також зміною технічного стану ГПА в цілому. Основними параметрами роботи ГПА є тиск газу на вході ( $P_{вх}$ ) і виході нагнітача ( $P_{вих}$ ) частота обертів його ротора, температура газу на вході і виході нагнітача, температура продуктів згоряння перед турбіною високого тиску (ТВТ).

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Якщо проаналізувати відмови, які трапляються на ГПА, за типами обладнання, що експлуатуються на території України в межах одного року, то можна їх приблизно розподілити у таких відсоткових значеннях:

- механічне обладнання – 24 %;
- електрообладнання – 19 %;
- обладнання КВПіА – 55,4 %;
- інші відмови – 1,6 %.

Таким чином, виходячи з даних УКРТРАНСГАЗУ, особливу увагу в контексті відмовостійкості необхідно приділити обладнанню контрольно-вимірювальних приладів і автоматиці; вирішити питання, пов'язані з контролепридатністю, достовірністю роботи аналізаторів та каналів зв'язку в умовах безперервної експлуатації. Новий сучасний ДАК КЦ має відповідати сучасним вимогам:

- можливості інтегруватися в багаторівневі інформаційні системи;
- скорочення часу на збір і обробку технологічної інформації;
- оперативне виявлення аварійних і доаварійних ситуацій;
- діагностування технологічних об'єктів у реальному масштабі часу, у тому числі в нештатних ситуаціях;
- розширення обсягів і підвищення достовірності технологічної інформації.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є проведення аналізу використовуваних, вивчених методів з метою напрацювання рекомендацій, розробці ДАК, режимів роботи

для перспективних систем автоматичного діагностування ГПА із застосуванням нейромережових технологій математичного апарату.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто методології діагностування, призначені для запобігання вимушених змін режиму роботи ГПА, зокрема зупинень, через відмови вимірювальних каналів та сигналізаторів.

Ефективність і надійність експлуатації обладнання багато в чому визначається досконалістю системи обслуговування, яка залежить як від системи проведення ремонтів і рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу, так і від належного рівня експлуатації, системи контролю працездатності і ремонтпридатності обладнання.

Для забезпечення належного рівня експлуатації необхідна технічна діагностика, метою якої є виявлення відмов і несправностей на ранніх стадіях їх розвитку. Технічна діагностика – наука про розпізнавання стану технічної системи. Структура технічної діагностики включає два взаємопов'язані напрямки: теорію розпізнавання і теорію контролепридатності. Контролепридатність – властивість виробу, що характеризує його пристосованість до проведення контролю заданими засобами [5; 11].

Теорія розпізнавання використовується для побудови діагностичних моделей об'єктів діагностування, а також для розробки алгоритмів розпізнавання і правил прийняття рішення.

Теорія контролепридатності включає розробку засобів і методів отримання діагностичної інформації, контроль технічного стану об'єкта і пошук несправностей. Контролепридатність повинна забезпечуватися конструкцією виробу і системою її технічної діагностики.

Нині рівень розвитку системи транспорту газу і розвиток діагностичних технологій призводить до збільшення значущості знання про технічний стан устаткування, що у свою чергу вимагає розширення і поглиблення приладової і методологічної бази діагностичних досліджень.

Для якісного дослідження технічного стану складні системи повинні бути розділені на підсистеми (комплекси, агрегати) і елементи (вузли та деталі). У складі підсистем можуть розглядатися конструктивно і функціонально завершені складові частини системи, взаємодія яких забезпечує досягнення поставленої мети під час виконання запланованого завдання. Як елементи в розгляд включаються складові частини, які є результатом деякого розподілу конструкції системи без дотримання принципів конструктивної і функціональної завершеності частин.

Кожен елемент системи пов'язаний з іншими елементами певним чином, а ідентичні елементи можуть мати різні характеристики в різних системах. Тому, перш за все, необхідно виявити взаємозв'язки і провести її структурний аналіз. Отримана таким чином інформація може надаватися у вигляді різних схем, креслень, технічних описів, карт логічних переходів тощо [7; 9; 10].

Компресорну установку можна визначити як складну технічну систему, в якій не можна розмежувати дію змінних різної фізичної природи, оскільки вони мають властивість емерджентності, тобто вони не зводяться до суми складових частин, а являють собою якесь єдине ціле, що володіє якостями, які жодній зі складових її частин не притаманні [3; 4]. Все, що не входить до технічної системи, є щодо неї зовнішнім середовищем. Система може відчувати вплив цього середовища і сама впливати на нього. Перші можна визначити як вхідні впливу, другі – як вихідні. Вхідні впливу можна розділити на регульовані, випадкові динамічні дії і «шум» системи. Сукупність вихідних параметрів можна охарактеризувати як основу вектора технічного стану. У свою чергу, вектор технічного стану за допомогою датчиків сприймається вимірювальними

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

комплексами і піддається дослідженню певними методами аналізу, утворюючи відгук системи, градієнт зміни якого вказує на зміну технічного стану.

Пошук несправностей і дефектів, що зароджуються у проточній частині відцентрового компресора (осьового компресора, турбіни) не може обмежуватися тільки вібродіагностикою, яка дає близько 60 % достовірної інформації про стан газоповітряного тракту. Тому для своєчасного отримання інформації про стан проточної частини і характер перебігу потоку газу необхідно провести оцінювання поточних параметрів газового потоку, відхилення яких від допустимих норм може призвести до виходу з ладу вузлів і агрегатів компресора. Своєчасне виявлення небезпечних режимів, у разі їх виникнення, дозволить запобігти відмовам і уникнути аварійних ситуацій. Принципова схема взаємозв'язків складної технічної системи наведена на рисунку.

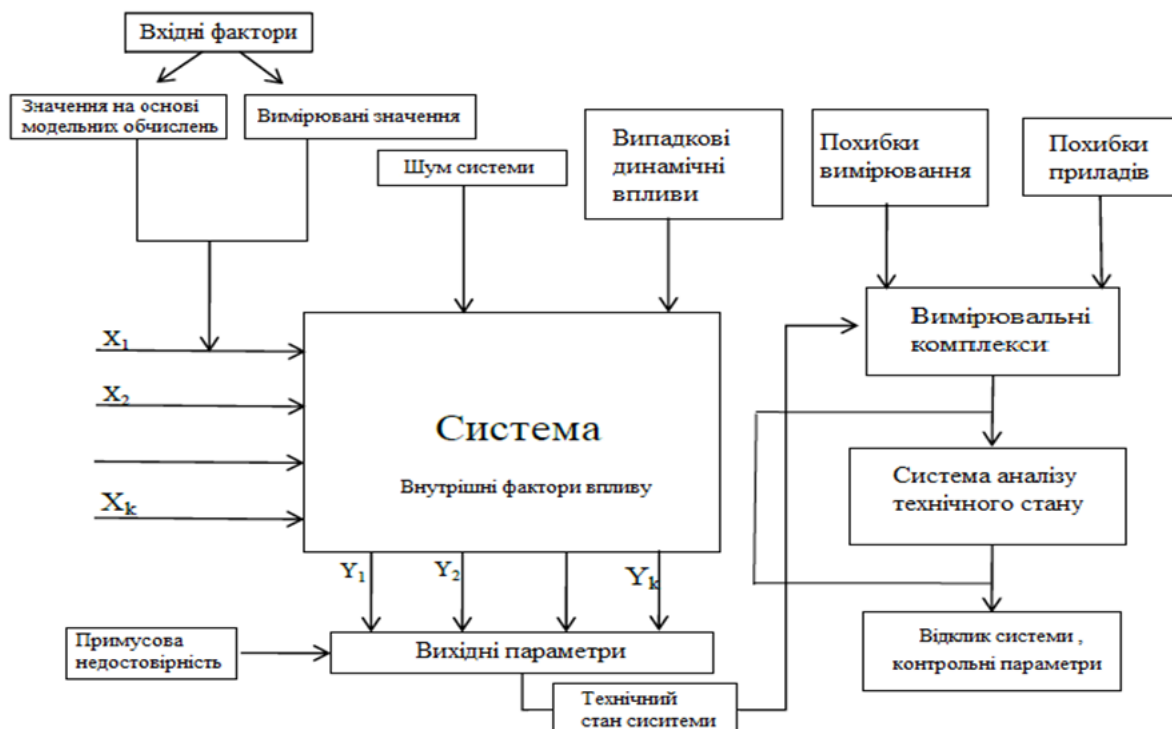


Рис. Принципова схема взаємозв'язків складної технічної системи

Визначення технічного стану газового тракту відцентрового нагнітача компресорної установки (а так само осьового компресора при використанні газотурбінного приводу) здійснюється методами функціонального діагностування [2; 11; 12; 13], заснованого на аналізі результатів вимірювань відхилень основних вимірюваних робочих параметрів – прямий метод аналізу. У разі, якщо деякі значення діагностичних параметрів не піддаються безпосередньому виміру, їхні значення визначаються математичною обробкою інших. Реальні показники можуть відрізнитися від пов'язаних з ними фізичними і математичними залежностями з урахуванням можливих похибок систем і способів вимірювання (непрямий метод аналізу). Такий метод дозволить виявити тільки ті несправності, які викликають зміну відхилень термогазодинамічних параметрів (тиску, температур, витрат газу) від середніх, заданих технічною документацією значень. Основна складність контролю технічного стану проточної частини відцентрового нагнітача полягає у труднощі математичного моделювання або кількісної оцінки процесів, що протікають у нагнітачі, що призводить до складних проблем встановлення достовірного діагнозу за прийнятний проміжок часу.

Сутність термогазодинамічних діагностики полягає в [2; 6; 8; 11]:

- постійному або періодичному контролю поточних параметрів газового потоку і стану проточної частини;
- порівняння отриманих даних з еталонними характеристиками;
- кількісне і якісне визначення відхилень з огляду на похибки вимірювання;
- попередження обслуговуючого персоналу компресорної установки про наближення режиму роботи системи до критичних точок (задовго до спрацьовування аварійних систем) або появи небажаних явищ (зрив, відкладення, ерозія тощо) у роботі газового тракту.

Погіршення стану нагнітача і ГТУ в процесі експлуатації впливає на надійність, моторесурс, газодинамічні характеристики ГПА і найрізноманітніші технологічні показники газопроводу. Кількісне визначення впливу зміни технічного стану ВЦН і ГТУ на технологічні показники роботи газопроводу може бути здійснено в межах термогазодинамічної моделі ГПА.

Значна кількість вимірюваних параметрів ГПА знаходяться у фізичній залежності один від одного. Використовуючи ці залежності, за допомогою алгоритмів обчислюють розрахункові (аналітичні) значення одних параметрів через вимірювані значення інших (параметрів-аргументів). Це дозволяє зберігати контроль та регулювання параметрів у випадку відмови окремих каналів вимірювання та продовжувати роботу ГПА на заданому режимі [14].

Також є обчислювані (невимірювані) параметри регулювання (витрата паливного газу, витрата нагнітача, запас від межі помпажу), які алгоритм розраховує декількома способами, що відрізняються складом аргументів [4]. Таке дублювання розрахунків дозволяє використовувати альтернативний розрахунок у разі порушення каналів вимірювання окремих аргументів. Аналітичний блок тільки для тих параметрів захисту ГПА і регулювання його режиму (критичних параметрів), для яких встановлено однозначні аналітичні залежності з іншими параметрами.

Результатом аналітичної ідентифікації відмови каналу вимірювання є ознака недостовірності відповідного параметра. Дозволивши ручне встановлення недостовірності будь-яких вимірюваних параметрів та дискретних сигналізаторів для технічного обслуговування відповідних каналів без зупинення ГПА. ДАК безперервно працює на усіх робочих режимах ГПА. Функції переключення на аналітичне значення параметра при втраті чи недостовірності його вимірювання активується окремо для кожного параметра.

*Система ДАК має складатися з блоків ідентифікації, аналітики та логіки.*

Блок ідентифікації емпірично уточнюватиме аналітичні залежності критичних параметрів від параметрів-аргументів під час налагодження та дослідної експлуатації ДАК ГПА та після істотних змін у технології ГПА (наприклад, заміна або повернення з капітального ремонту ГТД). Аналітичний блок постійно обчислюватиме аналітичні значення критичних параметрів через вимірювані значення параметрів-аргументів та контролюватиме:

- вихід вимірюваних значень критичних параметрів та параметрів-аргументів за нормовані межі вимірювання, що свідчить про порушення каналів вимірювання ;
- нефізичні динамічні зміни вимірюваних значень критичних параметрів та параметрів-аргументів (поява шуму в сигналі), що свідчить про порушення каналів вимірювання;
- відхилення вимірюваних значень критичних параметрів від їх аналітичних значень, що свідчить про метрологічні відмови каналів вимірювання;
- невідповідність зміни значень сигналізаторів стану кранів значенням, пов'язаних зі станом крану аналогових параметрів для уникнення хибного діагностування незрушень, непереключень та несанкціонованих (не за командами САК ГПА) переключень кранів.

*Логічний блок ДАК має виконувати такі функції:*

- обслуговує команди та налаштування, виконувані оператором (встановлення уставок максимального відхилення, вибіркочку активацію/деактивацію алгоритму для

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

окремих параметрів, зняття ознак недостовірності після усунення відмов та примусове встановлення ознак недостовірності окремих параметрів);

- за результатами роботи аналітичної частини, у випадку діагностування відмов каналів вимірювання критичних параметрів і параметрів-аргументів, або за ручними командами примусового встановлення недостовірності будь-яких каналів вимірювання формує ознаки недостовірності виміряних значень відповідних параметрів;

- для активованих критичних параметрів з ідентифікованою недостовірністю їх вимірювання посилає на входи алгоритмів захисту та регулювання їх аналітичні значення замість виміряних (ручне встановлення ознаки недостовірності для критичного параметра викликає таку заміну без врахування ознаки активації для нього);

- якщо сформована недостовірність параметра-аргументу, то встановлює недостовірність аналітичного значення відповідного критичного параметра;

- якщо недостовірність встановлена для аналітичного значення вимірюваного критичного параметра, то знімає активацію для нього;

- якщо недостовірність встановлена для основного аналітичного значення розрахункового (не вимірюваного) критичного параметра, то посилає на входи алгоритмів захисту та регулювання значення, одержані дублюючим розрахунком (зняття недостовірності основного аналітичного значення призводить до зворотного переключення);

- якщо недостовірність встановлена також для дублюючого аналітичного значення розрахункового (не вимірюваного) критичного параметра, то фіксує останнє перед встановленням розраховане значення;

- для не розраховуваних аналітичних параметрів з примусово встановленою недостовірністю фіксуватиме останнє перед встановленням виміряне значення.

Як математичний апарат для використання у системах ДАК КЦ вважаємо за доцільне використання технології нейронних мереж, що дозволить скористатися корисними властивостями та суттєвими перевагами над іншими, раніше використовуваними методами обчислень.

Використання нейронних мереж забезпечить такі корисні властивості систем:

1. Нелінійність. Штучні нейрони можуть бути лінійними і нелінійними. Нейронні мережі, побудовані зі з'єднань нелінійних нейронів, самі є нелінійними. Більш того, ця нелінійність особливого сорту, оскільки вона розподілена по мережі. Нелінійність є надзвичайно важливою властивістю, особливо якщо сам фізичний механізм, який відповідає за формування вхідного сигналу, теж є нелінійним (наприклад, ГПА).

2. Відображення вхідної інформації у вихідну. Однією з популярних парадигм навчання є навчання з учителем. Це має на увазі зміну синаптичних ваг на основі набору маркованих навчальних прикладів. Кожен приклад складається з вхідного сигналу і відповідного йому бажаного відгуку. З цієї безлічі випадковим чином вибирається приклад, а нейронна мережа модифікує синаптичні ваги для мінімізації розбіжностей бажаного вихідного сигналу і формованого мережею відповідно до обраного статистичного критерію. При цьому власне модифікуються вільні параметри мережі, раніше використані приклади можуть згодом бути застосовані знову, але вже в іншому порядку. Це навчання проводиться доти, поки зміни синаптичних ваг не стануть незначними. Таким чином, нейронна мережа навчається на прикладах, складаючи таблицю відповідностей «ВХІД-ВИХІД» для конкретного завдання.

Для прикладу розглянемо задачу класифікації відмов. У ній потрібно співвіднести вхідний сигнал, який представляє фізичне явище, або подію, з деякою визначеною категорією (класом відмови). При непараметричному підході до цієї задачі потрібно «оцінити» межі рішення у просторі вхідного сигналу на основі набору прикладів. При цьому не використовується ніяка імовірнісна модель розподілу.

Аналогічний підхід застосовується і в парадигмі навчання з учителем. Це ще раз підкреслює паралель між відображенням вхідних сигналів у вихідні, здійснюваним нейронною мережею, і непараметричним, статистичними навчанням.

3. Адаптивність. Нейронні мережі мають здатність адаптувати свої синаптичні ваги до змін навколишнього середовища. Зокрема, нейронні мережі, навчені діяти в певному середовищі, можуть бути легко перенавчені для роботи в умовах незначних коливань параметрів середовища. Більш того, для роботи в нестационарному середовищі (де статистика змінюється з плином часу) можуть бути створені нейронні мережі, що змінюють синаптичні ваги в реальному часі. Природна для класифікації образів, обробки сигналів і завдань управління архітектура нейронних мереж, може бути об'єднана з їх здатністю до адаптації, що призведе до створення моделей адаптивної класифікації образів, адаптивної обробки сигналів і адаптивного управління. Відомо, що чим вище адаптивні здібності системи, тим більш стійкою буде її робота в нестационарному середовищі.

4. Очевидність відповіді. У контексті завдання класифікації відмов можна розробити нейронну мережу, що збирає інформацію не тільки для визначення конкретного класу, але і для збільшення вірогідності прийнятого рішення. Згодом ця інформація може використовуватися для виключення сумнівних рішень, що підвищить продуктивність нейронної мережі.

5. Контекстна інформація. Знання подаються у самій структурі нейронної мережі за допомогою її стану активації. Кожен нейрон мережі потенційно може бути схильний до впливу всіх інших її нейронів. Як наслідок, існування нейронної мережі безпосередньо пов'язано з контекстною інформацією.

6. Відмовостійкість. Нейронні мережі, представлені у формі електроніки, потенційно відмовостійкі. Це означає, що за несприятливих умов їхня продуктивність падає незначно. Наприклад, якщо пошкоджений якийсь нейрон або його зв'язок, витягування запам'ятовувальної інформації ускладнюється. Однак, беручи до уваги розподілений характер зберігання інформації в нейронній мережі, можна стверджувати, що тільки серйозні пошкодження структури нейронної мережі істотно вплинуть на її працездатність. Тому зниження якості роботи нейронної мережі відбувається повільно. Незначне пошкодження структури ніколи не викликає катастрофічних наслідків. Це очевидна перевага, однак її часто не враховують. Щоб гарантувати відмовостійкість роботи нейронної мережі, в алгоритми навчання потрібно закладати відповідні поправки.

7. Масштабованість. Паралельна структура нейронних мереж потенційно прискорює рішення деяких завдань і забезпечує масштабованість нейронних мереж у межах технології VLSI (very large scale integrated). Одним з переваг технологій VLSI є можливість представити досить складну поведінку за допомогою ієрархічної структури.

8. Нейронні мережі є універсальним механізмом оброблення інформації. Це означає, що ту саме проектне рішення нейронної мережі може використовуватися в багатьох предметних галузях. Ця властивість проявляється декількома способами. Нейрони в тій чи іншій формі є стандартними складовими частинами будь-якої нейронної мережі. Ця спільність дозволяє використовувати ті ж самі теорії й алгоритми навчання в різних нейромережевих додатках. Модульні мережі можуть бути побудовані на основі інтеграції цілих модулів.

9. Аналогія з нейробиологією. Будова нейронних мереж визначається аналогією з людським мозком, який є живим доказом того, що відмовостійкі паралельні обчислення не тільки фізично реалізовані, але і є швидким, і потужним інструментом вирішення завдань. Нейробиологи розглядають штучні нейронні мережі як засіб моделювання фізичних явищ. З іншої сторони, інженери постійно намагаються почерпнути у нейробиологів нові ідеї, що виходять за межі традиційних електросхем.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У математичному поданні функціонування нейрона  $k$  можна описати такою парою рівнянь:

$$u_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj} \cdot x_j; \quad (1)$$

$$y_k = \phi(u_k + b_k); \quad (2)$$

$$v_k = u_k + b_k, \quad (3)$$

де  $x_j$  – вхідні сигнали;  $\omega_{kj}$  – синаптичні ваги нейрона  $k$ ;  $u_k$  – лінійна комбінація вхідних впливів;  $b_k$  – поріг;  $\phi$  – функція активації;  $v_k$  – вихідний сигнал нейрона. Використання порогу  $b_k$  забезпечує ефект трансформації, виходу лінійного суматора  $u_k$ . Поріг  $b_k$  є зовнішнім параметром штучного нейрона  $k$ . Його присутність ми бачимо у виразі (2). Беручи до уваги вираз (3), формули (1), (2) можна перетворити до такого вигляду:

$$u_k = \sum_{j=0}^m \omega_{kj} \cdot x_j; \quad (4)$$

$$y_k = \phi(v_k). \quad (5)$$

У вираз (4) додається новий синапсис. Його вихідний сигнал дорівнює:

$$x_0 = +1,$$

а його вага:

$$\omega_{k0} = b_k.$$

Функції активації, представлені у формулах  $\phi(v)$ , визначають вихідний сигнал нейрона залежно від індукційного локального поля  $v$ .

Функція єдиного стрибка, чи порогова функція:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } v < 0. \end{cases} \quad (6)$$

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_k \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } v_k < 0; \end{cases} \quad (7)$$

де  $v_k$  – індукційоване локальне поле нейрона, тобто

$$v_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj} x_j + b_k. \quad (8)$$

Шматочно-лінійна функція. Шматочно-лінійна функція, описується таким виразом:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq +\frac{1}{2}; \\ |v|, & +\frac{1}{2} > v; \\ 0, & v \leq -\frac{1}{2}, \end{cases} \quad (9)$$

де коефіцієнт посилення в лінійній області оператора передбачається рівним одиниці. Цю функцію активації можливо розглядати як апроксимацію нелінійного посилення.

Сигмоїдальна функція, графік якої нагадує букву S, являє собою найбільш розповсюджену функцію, використовувану для створення штучних нейронних мереж. Це швидко зростаюча функція, яка підтримує баланс між лінійною і нелінійною поведінкою. Прикладом сигмоїдальної функції може служити логістична функція, яка задається таким виразом:



$$\phi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-av)}, \quad (10)$$

де  $a$  – параметр нахилу сигмоїдальної функції. Змінюючи цей параметр, можливо побудувати функції різної крутизни.

Область значень функції активації визначається формулами (8), (11) та (12), являє собою відрізок від 0 до +1. Але інколи потрібна функція активації, яка має область значень від -1 до +1. У цьому випадку функція активації повинна бути симетричною відносно початку координат. Порогову функцію в цьому випадку можна визначити таким чином:

$$\phi(v) = \begin{cases} 1, & v > 0; \\ 0, & v = 0; \\ 0, & v < 0. \end{cases} \quad (11)$$

Ця функція зазвичай називається сигнум. У такому випадку сигмоїдальна функція буде мати форму гіперболічного тангенса:

$$\phi(v) = \tan(v). \quad (12)$$

Модель нейрона – детермінічна. Це означає, що перетворення вхідного сигналу у вихідний точно визначено для всіх значень сигналу. Але в деяких випадках краще використовувати стохастичні нейромережеві моделі, в яких функція активації має вірогіднісну інтерпретацію. В таких моделях нейрон може знаходитись в одному з двох станів: +1 чи -1. Рішення про переключення стану нейрона приймається з вірогідності цієї події. Позначимо стан нейрона символом  $x$ , а вірогідність активації нейрона –  $P(v)$ , де  $v$  – індукційне локальне поле нейрона. Тоді:

$$x = \begin{cases} +1, & \text{з вірогідністю } p(v); \\ -1, & \text{з вірогідністю } 1 - p(v). \end{cases} \quad (13)$$

Вірогідність  $p(v)$  описується сигмоїдальною функцією такого вигляду:

$$p(v) = \frac{1}{1 + \exp(-v/T)}, \quad (14)$$

де  $T$  – це аналог температури, використовуваний для керування рівнем шуму, таким чином ступенем невизначеності перемикачання. При цьому важливо зауважити, що  $T$  – не описує фізичну температуру нейронної мережі. Параметр  $T$  управляє термальними флуктаціями, являючи собою ефект синоптичного шуму. Зазначимо, якщо параметр  $T$  прагне до нуля, то стохастичний нейрон набере детермінованої форми (без увімкнення шуму) нейрона Мак-Каллока-Питца.

**Висновки і пропозиції.** Забезпечення ефективної та безперебійної роботи газоперекачувальних агрегатів є важливим завданням газотранспортної промисловості. Досягнення необхідних показників вимагає використання комплексів методологічного та програмного забезпечення для виявлення несправностей ГПА.

Запропоновано рекомендації щодо створення нових, сучасних ДАК, нових методів на базі попереднього досвіду роботи з існуючими методами [15]. Зроблено аналіз високоефективних методів діагностування. Запропоновано схему роботи інтелектуальної системи прийняття рішення для діагностики, яка дозволить на основі параметрів агрегата своєчасно виявляти відмови в роботі пристроїв, аналізаторів, каналів зв'язку, що призводить до підвищення безпеки праці, забезпечить своєчасний ремонт і технічне обслуговування установки. Крім того, встановлення причин несправності підвищує ймовірність усунення допущених у ході експлуатації порушень або виявлення заводських та інших дефектів у деталях обладнання та устаткування.

**Список використаних джерел**

1. Байков И. Р. Моделирование технологических процессов трубопроводного транспорта нефти и газа / И. Р. Байков, Т. Г. Жданова, Э. А. Гареев. – Уфа, 1994. – 127 с.
2. Белоконов Н. И. Газотурбинные установки на компрессорных станциях магистральных газопроводов / Н. И. Белоконов, Б. П. Поршаков. – М. : Недра, 1969. – 109 с.
3. Блехман И. И. Вибрационная механика / И. И. Блехман. – М. : Наука, 1994. – 394 с.
4. Диментберг М. Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний / М. Ф. Диментберг. – М. : Наука, 1980. – 368 с.
5. Зарицкий С. П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинными приводами / С. П. Зарицкий. – М. : Недра, 1987. – 198 с.
6. Кеба И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И. В. Кеба. – М. : Транспорт, 1980. – 248 с.
7. Кудашев Э. Р. Идентификация неисправностей газоперекачивающего агрегата методом «слабых резонансов» / Э. Р. Кудашев, В. А. Иванов, А. С. Семенов // Мегапаскаль : сб. науч. тр. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2005. – Вып. 1. – С. 57–61.
8. Кунина П. С. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с центробежными нагнетателями / П. С. Кунина, П. П. Павленко. – Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 2001. – 362 с.
9. Микаэлян Э. А. Техническое обслуживание газотурбинных газоперекачивающих агрегатов / Э. А. Микаэлян // Методология, исследования, анализ, практика. – М. : РГУ нефти и газа им. Губкина И.Н., 1998. – С. 318.
10. Микаэлян Э. А. Эксплуатация газотурбинных газоперерабатывающих аппаратов компрессорных станций, газопроводов / Э. А. Микаэлян. – М. : Недра, 1994. – 304 с.
11. Сиротин Н. Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Н. Н. Сиротин, Ю. М. Коровин. – М. : Машиностроение, 1979. – 272 с.
12. Смородов Е. А. Применение методов линейного программирования к расчету коэффициентов технического состояния газоперекачивающих агрегатов / Е. А. Смородов, С. В. Китаев // Газовая промышленность. – 2000. – № 5. – С. 29–31.
13. Учет технического состояния газотурбинной установки при определении ее рабочей мощности / А. А. Кибарин, Т. В. Ходанова, А. С. Касимов, И. В. Мартынов, Ю. М. Перегудов // Вестник Евразийского инновационного университета. – 2010. – № 4 (40). – С. 25–27.
14. Харионовский В. В. Надежность и диагностика газопроводов / В. В. Харионовский // Газовая промышленность. – 1997. – № 3. – С. 10–12.
15. Хенли Д. Надёжность технических систем и оценка риска / Д. Хенли, Х. Кумамото. – М. : Мир, 1987. – 528 с.
16. Эпифанов С. В. Определение тяги ГТД с учётом изменения состояния проточной части / С. В. Эпифанов, М. В. Шевченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10. – С. 184–189.

**References**

1. Baikov, I.R., Zhdanova, T.G., Gareev, E.A. (1994). *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov truboprovodnogo transporta nefi i gaza [Modelling of technological processes of pipeline oil and gas transport]*. Ufa (in Russian).
2. Belokon, N.I., Porshakov, B.P. (1969). *Gazoturbinnye ustanovki na kompressornykh stantciakh magistralnykh gazoprovodov [Gas turbines at compressor stations of the main gas pipelines]*. Moscow: Nedra (in Russian).
3. Blekhan, I.I. (1994). *Vibratsionnaia mekhanika. [Vibrational Mechanics]*. Moscow: Nauka (in Russian).
4. Dimentberg, M.F. (1980). *Nelineinye stokhasticheskie zadachi mekhanicheskikh kolebanii [Nonlinear stochastic problems of mechanical vibrations]*. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Zaritckii, S.P. (1987). *Diagnostika gazoperekachivaiushchikh agregatov s gazoturbinnymi privodami [Diagnostic of gastransmitted agrigates with gasturbine drive unit]*. Moscow: Nedra (in Russian).
6. Keba, I.V. (1980). *Diagnostika aviatcionnykh gazoturbinnnykh dvigatelei [Diagnostic of aviatcional gasturbine engines]*. Moscow: Transport (in Russian).

7. Kudashev, E.R., Ivanov, V.A., Semenov, A.S. (2005). *Identifikatsiia neispravnostei gazoperekachivaiushchego agregata metodom «slabykh rezonansov» [Fault identification of a pumping unit by “weak resonances” method]*. Megapaskal. Tiumen: TiumGNGU, vol. 1, pp. 57–61 (in Russian).
8. Kunina, P.S., Pavlenko, P.P. (2001). *Diagnostika gazoperekachivaiushchikh arpegatov s tcentrobezhnymi nagnetateliymi [Diagnostic of gastransmitted agrigates with a centrifugal blower]*. Rostov-na-Donu, Izd-vo RGU (in Russian).
9. Mikaelian, E.A. (1998). *Tekhnicheskoe obsluzhivanie gazoturbinykh gazoperekachivaiushchikh agregatov. Metodologiya, issledovaniia, analiz, praktika [Maintenance of gasturbine gaspumping units. Methodology, research, analysis, practice]* Moscow: RGUnefit i gaza im. Gubkina I.N., p. 318 (in Russian).
10. Mikaelian, E.A. (1994). *Ekspluatatsiia gazoturbinykh gazopererabatyvaiushchikh apparatov kompressornykh stantsii, gazoprovodov [Operation of gasturbine gasprocessing units of compressor stations, pipelines]*. Moscow: Nedra (in Russian).
11. Sirotin, H.H., Korovin, Iu.M. (1979). *Tekhnicheskaiia diagnostika aviatcionnykh gazoturbinykh dvigatelei [Technical diagnostic of aviatcional gasturbine engines]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
12. Smorodov, E.A., Kitaev, C.B. (2000). *Primenenie metodov lineinogo programmirovaniia k raschetu koeffitsientov tekhnicheskogo sostoianiia gazoperekachivaiushchikh agregatov [Application of Linear Programming to the calculation of the coefficients of gas pumping units technical state]*. *Gazovaia promyshlennost – Gas Industry of Russia*, no. 5, pp. 29–31 (in Russian).
13. Kibarin, A.A., Khodanova, T.V., Kasimov, A.S., Martynov, I.V., Peregudov, Iu.M. (2010). *Uchet tekhnicheskogo sostoianiia gazoturbinoi ustanovki pri opredelenii ee rabochei moshchnosti [Accounting of the technical condition of the gas turbine unit while determining its operating capacity]*. *Vestnik Evraziiskogo innovatsionnogo universiteta – Journal of Innovative University of Eurasia*, no. 4 (40), pp. 25–27 (in Russian).
14. Kharionovskii, V.V. (1997). *Nadezhnost i diagnostika gazoprovodov [Reliability and diagnostics of gas pipelines]*. *Gazovaia promyshlennost – Gas Industry of Russia*, no. 3, pp. 10–12 (in Russian).
15. Khenli, D., Kumamoto, X. (1987). *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i otsenka riska [Reliability of technical system and risk assessment]*. Moscow: Mir (in Russian).
16. Epifanov, S.V., Shevchenko, M.V. (2009). *Opredelenie tiagi GTD s uchetom izmeneniia sostoianiia protochnoi chasti [Definition of gas turbine engine thrust, taking into account changes in the state of the running part]*. *Aviatcionno-kosmicheskaiia tekhnika i tekhnologiya – Aerospace technic and technology*, no. 10, pp. 184–189 (in Russian).

**Литвин Олександр Олександрович** – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Литвин Александр Александрович** – аспірант кафедри информационных технологий программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Lytvyn Olexandr** – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** xpower4718@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5243-3970>

**ResearcherID:** J-1479-2016