

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Павлика Володимира Васильовича *"Комплексний метод та система контролю технічного стану газоперекачувальних агрегатів великої потужності"*, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

1. Актуальність теми

Серед ГПА з газотурбінним приводом, встановлених на газотранспортній системі України (ГТС), частка ГПА великої потужності – 25 МВт типу ГТК-25і та ГПА-25С складає 18,6%, що становить значний відсоток від загальної потужності газотурбінних ГПА. Серед них ГПА типу ГТК-25і були введені в експлуатацію на трансконтинентальному газопроводі «Уренгой-Помари-Ужгород» ще на початку 80-років. Разом з ГТК-25і поставлялися системи автоматичного управління (САУ), які на даний час є морально застарілими.

Сьогодні більше 60% ГПА ГТК-25і з їх САУ відпрацювали встановлений моторесурс, або близькі до нього у зв'язку з чим виникають багаточисельні відмови та аварії, що призводять до значних економічних збитків.

Відомі методи параметричної і віброакустичної діагностики ГПА мають обмежене використання і не дозволяють контролювати технічний стан ГПА в процесі експлуатації і, тим самим, попередити виникнення аварійних ситуацій. Щодо діагностування САУ ГПА то сьогодні практично відсутні методи контролю їх стану, що обумовлюється відсутністю системного підходу до визначення технічного стану існуючих САУ ГПА за даними експлуатації.

Тому розробка комплексу методів контролю ГПА з САУ, які базуються на використанні методів параметричної ідентифікації, дискримінантного аналізу, вейвлет-перетворення та апарату штучних нейронних мереж для їх реалізації, що здатні забезпечити отримання оперативної і достовірної інформації про технічний стан ГПА з САУ в процесі експлуатації та підвищити рівень вірогідності їх контролю, є актуальною задачею, що має важливе народно-господарське значення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Об'єктом наукових досліджень в дисертації є процеси зміни технічного стану ГТК-25і з САУ, які викликані розвитком дефектів його механічних вузлів і елементів САУ, що призводять до зниження ступеню їх працездатності і, відповідно, зниження ефективності і надійності роботи ГТК-25і з САУ та виникнення аварійних ситуацій. Тому в роботі основна увага приділена розробці комплексу методів контролю технічного стану ГТК-25і з САУ, використання яких

дозволить підвищити оперативність і вірогідності контролю їх технічного стану в процесі експлуатації.

При цьому до новизни отриманих Павликом В.В. в процесі проведення теоретико-експериментальних досліджень результатів можна віднести:

- вперше встановлений взаємозв'язок зміни площі нормованих передавальних функцій ГПА зі зміною технічного стану САУ ГТК-25і, який покладений в основу методу контролю САУ ГТК-25і, що дозволило підвищити вірогідність контролю до 0,93;

- вперше встановлену лінійну залежність зміни значення норми апроксимації та норм деталізації по відношенню до норми сигналу (у відсотках) для п'ятирівневого вейвлет-розкладу акустичного процесу, що супроводжує роботу ГПА, від зміни технічного стану ГТК-25і, яка покладена в основу методу контролю його стану в процесі експлуатації;

- вперше розроблений метод контролю ГТК-25і, що ґрунтується на визначенні найбільших значень дискримінантних функцій його технологічних параметрів та вібраційних і акустичних характеристик, який є комплексним методом на відміну від існуючих методів параметричної і віброакустичної діагностики ГПА, та не вимагає для своєї реалізації додаткових технічних засобів, оскільки використовує інформацію з вдосконаленої САУ ГТК-25і;

- подальший розвиток методу обробки акустичних процесів, що супроводжують роботу ГТК-25і, з використанням штучних нейронних мереж для контролю його стану, що дозволило зі значенням метрики F1 не менше 0,8 контролювати три стани ГТК-25і: «номінальний», «поточний» та «дефектний», а подальше навчання нейронної мережі дасть можливість прогнозувати зміну технічного стану ГТК-25і та проводити ремонтні роботи за фактичною потребою.

Розробка алгоритмічного, апаратного та програмного забезпечення вдосконаленої системи контролю ГТК-25і, що базуються на результатах проведених теоретико-експериментальних досліджень, визначають практичну корисність дисертаційної роботи.

3. Обґрунтованість і вірогідність наукових результатів

Для вирішення поставлених завдань використовувалися основні положення віброакустичної діагностики машин, методи: технічної діагностики; теорії надійності і математичної статистики; ідентифікації об'єктів; спектрального і кореляційного аналізу; дискримінантного аналізу; обробки сигналів; схемотехніки. При цьому результати поставлених експериментів підтверджують обґрунтованість та ефективність розроблених методів. Основні висновки, сформульовані за результатами роботи, задовольняють загальноприйнятим критеріям вірогідності. Система припущень є коректною, справедливості висновків підтверджується результатами експериментів.

Дисертація викладена в зрозумілій, доступній формі. Стиль викладення матеріалу дисертації логічний, основні положення достатньо аргументовані, в тому числі, посилення на літературні джерела.

4. Загальна характеристика структури і змісту дисертаційної роботи та автореферату

Дисертаційна робота Павлика В.В. включає вступ, чотири розділи, висновки, основний зміст яких викладено на 142 сторінках тексту, 62 рисунки, 26 таблиць, список використаних джерел, який містить 106 найменувань, та 8 додатків на 39 сторінках.

У вступі наявні всі необхідні для дисертаційної роботи складові, а саме: відзначено актуальність вибраної теми, зв'язок виконаної роботи з науковими програмами, планами, темами, які виконувалися у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет, задачі та методи досліджень, а також подано відомості щодо апробації результатів роботи та опублікованих праць за результатами роботи.

У першому розділі проаналізовано сучасні тенденції діагностування технічного стану ГПА. Розглянуті конструктивні особливості ГПА ГТК-25і з точки зору контроле-придатності. Проаналізовано статистичні дані з відмов механічного обладнання ГТК-25і та його САУ і причини, що їх зумовлюють. Розглянуті існуючі методи параметричної і віброакустичної діагностики ГПА та методи діагностування САУ. Сформульовано задачі досліджень.

У другому розділі розглянуті теоретичні передумови та розроблено метод діагностування стану САУ за зміною площ його нормованих передавальних функцій. Розглянуті вихідні положення використання штучних нейронних мереж для діагностування технічного стану ГПА. Проведено вибір структури нейромережі для діагностування технічного стану ГТК-25і та її вхідних параметрів.

У третьому розділі розглядається методичне, технічне і програмне забезпечення експериментальних досліджень технічного стану ГТК-25і та обґрунтовується вибір давача акустичних коливань і місце його встановлення на корпусі осьового компресора. Наводяться результати експериментальних досліджень вібраційного стану осьового компресора ГТК-25і, в процесі яких проводилося вимірювання віброакустичних сигналів при його запуску та в усталеному режимі експлуатації для різних технічних станів ГТК-25і. Розглядаються статистичні характеристики акустичних процесів, що супроводжують роботу ГТК-25і.

У четвертому розділі розглянуто розроблені методи контролю технічного стану ГТК-25і. Проведена експериментальна перевірка методу контролю САУ, теоретичні передумови якого розглянуто в роз. 2. Розроблено комплексний метод контролю технічного стану ГТК-25і на базі дискримінантного аналізу його

технологічних параметрів та вібраційних і акустичних характеристик. За результатами обробки, з використанням вейвлет-перетворення, віброакустичних процесів, що супроводжують роботу ГТК-25і встановлена ознака контролю, яка покладена в основу методу контролю його технічного стану. Запропонована штучна нейронна мережа прямого поширення з двома прихованими шарами і вихідним шаром, що тренується за алгоритмом зворотного поширення похибки, для контролю технічного стану ГТК-25і та наводяться результати її навчання. Розглядається задача оцінки ефективності системи контролю САУ ГТК-25і для найбільш складного випадку - «випадково-періодичне використання ГТК-25і при випадково-періодичному діагностуванні САУ» за отриманим значенням показника готовності.

Таким чином, виконаний обсяг робіт забезпечив вирішення поставленої мети – отримання оперативної і достовірної інформації про технічний стан ГПА та їх САУ в процесі експлуатації на базі розробленого комплексу методів та системи їх контролю, тобто дисертації є завершеною науковою працею.

Зміст дисертації в повній мірі відображено в 27 наукових працях, з яких 5 - у виданнях, включених ДАК України до переліку фахових видань, 3 входять до міжнародних науко-метричних баз Scopus, Index Copernicus, 15 - у збірниках матеріалів вітчизняних та міжнародних наукових конференцій.

Автореферат достатньо повно відображає основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає чинним вимогам ДАК України.

6. Зауваження по дисертаційній роботі

6.1 В роботі на початку роз. 1.3 (ст. 34) з посиланням на джерела вказується, що технічна діагностика вирішує три задачі: контролю працездатності (ступеня працездатності), пошуку дефектів, прогнозування технічного стану, або поєднання цих задач. В роз.1.3.1 (ст. 35) при аналізі методів параметричної діагностики з посиланнями на багаточисельні джерела вказується, що сутність параметричної діагностики ГПА полягає в постійному або періодичному контролі поточних технологічних параметрів ГПА, порівнянні отриманих даних з еталонними характеристиками; кількісному і якісному визначенні відхилень, з огляду на похибки вимірювання і ін., тобто вирішується задача контролю технічного стану. В той же час в ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення» при визначенні поняття «технічне діагностування» в примітці 2 вказується, що термін “Технічне діагностування” застосовують, коли основним завданням технічного діагностування є пошук місця та визначення причин відмови (несправності), а термін “Контроль технічного діагностування” застосовується, коли основним завданням технічного діагностування є визначення

виду технічного стану. Виходячи з того, що робота присвячена розробці комплексу методів контролю технічного стану ГПА і їх САУ, коректніше було б вживати по тексту роботи термін «метод(и) контролю технічного стану ГПА» а не «метод(и) діагностування технічного стану ГПА».

6.2 В роботі на ст. 69 вказується, що для експериментальної перевірки розробленого методу діагностування САУ ГПА за його розгінними характеристиками методика передбачала отримання дев'яти розгінних характеристик ГПА в координатах «час-значення технологічних параметрів». В той же час в додатку Б наведена інформація для побудови розгінної характеристики лишень по одному параметру - частоті обертання ТВТ, яка використовується для апробації методу контролю стану САУ ГПА. Чи розглядалися розгінні характеристики інших технологічних параметрів ГПА, наведених в дод. Б2 для підтвердження ефективності розробленого методу контролю САУ ГПА?

6.3 З тексту роботи не зовсім зрозуміло, де в подальшому були використані результати дослідження вібраційного стану ГТК-25і? Як вони дозволяють отримати додаткові діагностичні ознаки його технічного стану?

6.4 В роз. 4.2 при розробці комплексного методу контролю технічного стану ГПА на базі дискримінантного аналізу технологічних параметрів його роботи по тексту не зрозуміло, які саме технологічні параметри були вибрані. Було б доцільно також визначити, які з них є найбільш чутливими до зміни технічного стану ГПА та їх мінімальну кількість для подальшої обробки.

6.5 Чому різні позначення системи координат на рис. 4.5 і 4.6 на яких представлені множини станів ГТК 25і за результатами дискримінантного аналізу його технологічних параметрів та віброакустичних характеристик.

6.6 В роз. 4.3 відсутнє обґрунтування вибору в якості базової функції при обробці акустичного сигналу симлет-вейвлет четвертого порядку.

6.7 В дисертації потрібно було б більше уваги приділити питанням визначення достовірності розроблених методів та засобів контролю.

Зазначені зауваження не носять принципового характеру та не знижують наукового рівня дисертаційної роботи.

7. Загальні висновки по дисертаційній роботі

7.1 Дисертаційна робота Павлика Володимира Васильовича є завершеною науково-дослідною працею, актуальною за тематикою, виконаною на доброму науковому рівні, що базується на результатах теоретико-експериментальних досліджень, проведених з використанням відповідних методик і новітніх пакетів прикладних програмних продуктів.

7.2 Пошукачем отримані нові науково-обґрунтовані результати, що дають змогу підвищити оперативність і вірогідність контролю технічного стану ГТК-25і з САУ в процесі експлуатації.

7.3 Результати досліджень, висновки та рекомендації представляють цінність для науки і практики, оскільки дозволяють контролювати зміну фактичного технічного стану ГТК-25і з САУ в процесі експлуатації і, тим самим, попередити виникнення аварійних ситуацій та проводити їх ремонт за потребою.

7.4 Наведена в дисертації та авторефераті інформація підтверджує повноту публікації матеріалів досліджень, висновків і результатів, які подаються пошукачем.

7.5 Дисертаційна робота "Комплексний метод та система контролю технічного стану газоперекачувальних агрегатів великої потужності" за актуальністю, обсягом, змістом та викладом інформації відповідає вимогам п.п. 9, 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» Постанови КМ України за № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор Павлик Володимир Васильович - присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор



[Handwritten signature]

В.Ю. Кучерук

Підпис *Кучерук В.Ю.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[Signature]*

Відгук на дієлов до спеціалізо вченої
ради до 052.03

29.04.2021



Вчений секретар.
Гуменюк Т.В.

Підпис *Гуменюк Т.В.*
посвідчую
Учений секретар ІФНТУНУ
29 *04* *2021* р.
В. Процик