

681.51  
571

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

БЛЯУТ Юрій Євстахович

УДК: 681.513.001.622.691.4.052

571

604

**АВТОМАТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОМПАЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ З ГАЗОТУРБІННИМ  
ПРИВОДОМ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО АНТИПОМПАЖНОГО  
РЕГУЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис  
Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України



**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
**Семенов Георгій Никифорович**  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Стоцько Зіновій Антонович**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри електронного машинобудування;

доктор технічних наук, професор  
**Тевяшев Андрій Дмитрович**  
Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри прикладної математики.

Захист відбудеться 19 квітня 2013р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розісланий «14 Березня» 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03,  
кандидат технічних наук, професор

М.М. Дранчук



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Автоматична ідентифікація помпажних характеристик газоперекачувальних агрегатів (ГПА) є підзадачею загальної проблеми оптимального керування компресорними станціями (КС), зокрема дотискувальними компресорними станціями (ДКС) підземних сховищ газу (ПСГ), які повинні забезпечувати високу надійність функціонування єдиної системи газопостачання України.

Аналіз статистики відмов за останні вісім років довів, що значну частину відмов обладнання ДКС ПСГ складають аварійні зупинки, спричинені безпосередньо явищами помпажу. Тому на ДКС ПСГ ДК «Укртрансгаз» гостро стоїть проблема захисту ГПА від помпажу. Традиційно ідентифікація помпажних характеристик ГПА, як задача отримання оптимальних в сенсі вибраного критерію оцінок векторів стану ГПА, здійснюється на основі обробки паспортних даних або фактичних характеристик відцентрових нагнітачів (ВН) ГПА. Проте, під час вирішення цієї задачі має місце невизначеність в апріорній інформації, яка може погіршити оцінки або вони можуть, навіть, втратити сенс.

Існуючі алгоритми ідентифікації, що мають доведену збіжність, вимагають або розширення вектора стану ГПА за рахунок включення в нього невідомих значень елементів матриці завад, або застосування алгоритмів стохастичної апроксимації, які суттєво залежать від розмірності схеми, або взагалі стають непридатними в реальних умовах внаслідок великої розмірності коваріаційної матриці завад, недостатньої кількості інформації та ін.. Застосування розширеного вектору стану в алгоритмах першого типу веде практично до подвоєння розмірності вектора стану ГПА. Алгоритми стохастичної апроксимації мають недостатню збіжність, при цьому із збільшенням розмірності матриці завад швидкість їх збіжності значно зменшується. Отже на даний час актуальною науково-прикладною задачею є розроблення і застосування нового методу та алгоритму автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ГПА, який був би вільним від вказаних вище недоліків.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Вибраний напрямок досліджень, виконаних у дисертаційній роботі, є складовою частиною тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Дисертаційна робота виконувалася автором відповідно до основного наукового напрямку діяльності кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології ІФНТУНГ. Тематика роботи є також частиною планової державної «Програми впровадження в експлуатацію САК ГПА та САК КЦ по ДК «Укртрансгаз» в 2007р.» (затв. ДК «Укртрансгаз» 28.12.2006р.). Науковою базою дисертації стали результати, отримані в процесі виконання науково-дослідних робіт, що здійснювалися за планами наукових досліджень ІФНТУНГ в рамках держбюджетних тем «Автоматизоване управління технологічними процесами буріння, видобування, транспортування, зберігання і переробки нафти і газу» (затв. Науковою радою ІФНТУНГ 04.10.04р., пр. № 8), «Розробка теоретичних основ і математичного забезпечення систем автоматизованого управління технологічними процесами галузі» (затв. Науковою радою ІФНТУНГ 07.10.2010 р., пр. № 8) та

«Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (ДР № 0111U005890). В межах зазначених тем здобувач був безпосередньо виконавцем розділів робіт щодо розробки нового методу автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ГПА з газотурбінним приводом.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності автоматичного керування газоперекачувальними агрегатами дотискувальних компресорних станцій підземних сховищ газу шляхом застосування методу та засобів автоматичної ідентифікації помпажних характеристик однотипних відцентрових нагнітачів при дотриманні встановлених обмежень незалежно від типу авіаційного газотурбінного приводу, який встановлюється для приведення їх у дію.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних задач:

- комплексний аналіз сучасного стану досліджень ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів;
- встановлення зв'язків ступення підвищення тиску газу з масовою витратою газу та розроблення методу ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів дотискувальної компресорної станції;
- встановлення зв'язку кроку дискретизації інформативних параметрів з часом перехідного процесу підсистеми автоматичної ідентифікації помпажних характеристик в складі САК ГПА;
- ідентифікація функції передачі відцентрового нагнітача експериментально-аналітичним методом;
- експериментальні дослідження в експлуатаційних умовах розробленого методу і системи автоматичної ідентифікації помпажних характеристик газоперекачувальних агрегатів, аналіз і узагальнення результатів досліджень;
- розробка промислового зразку програмно-апаратного комплексу підсистеми автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА і промислова апробація результатів досліджень.

**Об'єктом дослідження** є явище помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом, що функціонують на дотискувальних компресорних станціях підземних сховищ газу, яке приводить до істотних економічних втрат.

**Предметом дослідження** є моделі і методи ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом.

**Методи дослідження.** В основу досліджень покладено методи теорії автоматичного керування (для визначення функції передачі відцентрового нагнітача); теорії спектрально-кореляційного аналізу і обробки сигналів (для встановлення закономірностей і залежностей між масовою витратою газу і ступенем підвищення тиску газу); активного експерименту і фізичного моделювання (для отримання експериментальних даних і підтвердження вірогідності отриманих теоретичних результатів); схемотехніки (для розробки структури автоматичної системи ідентифікації помпажних характеристик); об'єктно-орієнтованого програмування (при розробці програмного забезпечення).

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:  
вперше:

- на основі встановленого зв'язку ступеня підвищення тиску газу з масовою витратою газу розроблено метод автоматичної ідентифікації реальних помпажних характеристик відцентрового нагнітача ГПА, як об'єкта керування, який реалізовано на базі удосконаленої методики визначення його витратно-напірних характеристик. Він дозволяє підвищити точність регулювання нагнітача антипомпажним клапаном, веде до зниження аварійності при роботі в перехідних і передпомпажних режимах та забезпечує економію пускового та паливного газу;

- досліджено зв'язок кроку дискретизації інформативних параметрів з часом перехідного процесу САК ГПА, що дало змогу вибрати оптимальний крок дискретизації та зменшити час перехідного процесу системи;

- отримано кореляційні функції масової витрати газу і ступеня підвищення тиску газу відцентрового нагнітача ГПА, що дало змогу визначити функцію передачі відцентрового нагнітача, його диференційне рівняння та використати їх для розв'язання задачі автоматичної ідентифікації помпажних характеристик;

*удосконалено:*

- загальну структуру САК ГПА і підсистему автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів, яка реалізує розроблений метод ідентифікації і побудови помпажних характеристик в реальному часі шляхом контролю масової витрати і ступеня підвищення тиску газу. Це дало змогу забезпечити підвищення надійності експлуатації ГПА компресорної станції вцілому, розширення можливої зони роботи відцентрових нагнітачів, а також прогнозувати реальну продуктивність кожного ГПА та зменшити кількість помпажів на ДКС.

**Практичне значення одержаних результатів** визначається тим, що на основі теоретичних досліджень реалізовано підсистему автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів ГПА з газотурбінним приводом у складі САК ГПА, яка дозволяє підвищити надійність експлуатації ГПА, розширити можливу зону роботи відцентрових нагнітачів, зменшити об'єми рециркуляції транспортованого газу в передпомпажних режимах роботи компресорного цеху та відповідно скоротити об'єм споживання паливного газу за рахунок розширення використовуваного робочого діапазону нагнітачів.

Розроблені в дисертації моделі, метод, а також алгоритмічне і програмне забезпечення дають змогу вирішувати задачу автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ГПА з газотурбінним приводом. Вони пройшли промислові випробування та впроваджені на об'єктах: ДКС «Дашава» філії УМГ «Львівтрансгаз» (акт впровадження від 25.10.2011 р.), очікуваний економічний ефект складає понад 0,8 млн. грн. на рік за рахунок економії паливного і пускового газу, а також скорочення об'ємів рециркуляції по КС орієнтовано на 80%; ДКС «Більче-Волиця» Стрийського ВУПЗГ (акт впровадження від 19.10.2011 р.), очікуваний економічний ефект складає понад 1,2 млн. грн. на рік із врахуванням скорочення об'ємів рециркуляції по КС орієнтовано на 70%.

Окремі розділи дисертаційної роботи використані у навчальному процесі ІФНТУНГ на кафедрі автоматизації технологічних процесів і моніторингу і екології при підготовці й читання курсу «Автоматизація технологічних процесів і

виробництва у нафтовій і газовій промисловості» студентам спеціальності 7.050202 – автоматизоване управління технологічними процесами (акт впровадження від 26.12.2011 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати та положення дисертаційної роботи одержані автором особисто. У роботах, написаних із співавторами, здобувачеві належить такі результати: [1] – запропоновано метод автоматичної ідентифікації реальних приведених витратно-напірних характеристик відцентрового нагнітача з газотурбінним приводом; [2] – розроблено структуру системи автоматичної ідентифікації та антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача ДКС; [3] – запропоновано параметричну ідентифікацію помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату в режимі on-line; [5] – розроблено автоматичну систему антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів дотискувальної компресорної станції; [7] – запропоновано метод ідентифікації помпажної характеристики відцентрового нагнітача; [13] – визначено кореляційний зв'язок ступеня підвищення тиску газу в газоперекачувальному агрегаті з масовою витратою газу; [14] – отримано статистичні характеристики коефіцієнту помпажу нагнітачів газоперекачувального агрегату дотискувальної компресорної станції; [15] – розроблено методуку автоматизованого калібрування помпажної характеристики відцентрового нагнітача із задіянням вимірювального комплексу «SUPER FLOO-II» типу «FLOU WIN» або «FLOU HOST»; [16] – запропоновано спосіб калібрування помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату (ГПА) в режимі on-line; [19] – запропоновано технологію визначення реальних приведених витратно-напірних характеристик відцентрового нагнітача; [24] – розроблено спосіб визначення помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату; [25] – розглянуто особливості автоматизованого управління газотранспортною системою.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і одержали позитивну оцінку на: Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте-2012» (Одеса, 2012); Міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании-2011» (Одеса, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання» (Івано-Франківськ, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте-2010» (Одеса, 2010); Міжнародній конференції «Автоматика 2010» (Харків, 2010); Міжнародній конференції «Автоматика 2008» (Одеса, 2008); Міжнародній науково-практичній конференції «Современные направления теоретических и прикладных исследований» (Одеса, 2008); 7-ї науково-технічній конференції «Приладобудування 2008: стан і перспективи» (Київ, 2008); 5-ї Всеукраїнській науково-технічній конференції «Вимірювання витрати та кількості газу» (Івано-

Франківськ, 2007); 2-<sup>ія</sup> Międzynarodowej naukowcy-praktyczne konferencji «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2007» (Przemysl, 2007); Międzynarodowej konferencji «Dynamika naukowych badan – 2007» (Przemysl, 2007); Международной научно-практической конференции «Современное состояние и пути развития–2007» (Одеса, 2007).

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковано 26 наукових працях, у тому числі у 10 статях у наукових фахових виданнях України з технічних наук, у тому числі одноособових 5, 2 патентах України та в 14 збірниках доповідей Міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 219 сторінок (з них 172 – основного тексту), що включає 75 рисунків, з яких 28 рисунків на 18 окремих сторінках, 16 додатків на 30 сторінках, список використаних джерел складає 124 найменування на 15 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та визначено задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розглянуто особистий внесок здобувача та наведено відомості про апробацію основних положень роботи.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи та технічні засоби, що застосовуються для ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів. Наведено характеристики об'єкта керування, а також відмов обладнання на ДКС «Більче-Волиця», проаналізовано методи визначення моментів входу робочої точки нагнітача в зону помпажу, вибрано й побудовано напрям досліджень.

Проведений аналіз методів і сучасних технічних засобів ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА з газотурбінним приводом дозволив зробити висновок, що досліджуваний об'єкт є нелінійним об'єктом керування, для якого реалізація комплексної програми автоматизації пов'язана з вирішенням важливого завдання синтезу систем автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів, що дозволяє покращити ефективність компримування природного газу і зменшити кількість позапланових ремонтів обладнання, викликаних виникненням помпажних явищ в нагнітачах, що у результаті дасть значну економію пускового, паливного та стравлюваного у результаті аварійної зупинки газу.

Аналітичний огляд робіт вітчизняних і зарубіжних вчених – Ю.Д.Акульшина, Г.О.Бикова, О.В.Олександрова, Р.О.Баллока, В.Г.Веселовського, О.В.Городецького, С.Г.Гіренка, Р.І.Ізмайлова, В.В.Казакевича, К.П.Селезньова, А.Д.Тевяшева, I.R.Baher, T.Downer, E.O.Kinq, I.F.Kuhlberg, H.Pearson, D.E.Sherrard та ін., пов'язаних з проблемами антипомпажного регулювання й ідентифікацією помпажних характеристик ВН ГПА, показав, що у розробках і промислових реалізаціях САК ГПА в Україні досягнуто нові позитивні результати. Проте,

проблеми автоматичної ідентифікації реальних помпажних характеристик ВН ГПА практично не досліджувалися і не отримали відповідної промислової реалізації.

Аналіз технологічних особливостей процесу компримування газу на ДКС ПСГ УМГ «Львівтрансгаз» дозволив визначити, що САК ГПА повинна вирішувати завдання автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА з газотурбінним приводом. При цьому інформація про помпажні характеристики має бути доступною усім локальним підсистемам САК ГПА. Показано, що однією із причин, які викликають необхідність створення підсистем автоматичної ідентифікації реальних помпажних характеристик ВН є неоднорідність характеристик однотипних ВН, відсутність адекватного математичного опису витратно-напірних характеристик через специфічні особливості процесу компримування: нелінійність об'єкта керування, безперервність процесу компримування, наявність суттєвих шумів у вимірювальних каналах та ін. Проведений аналіз дозволив зробити аргументовані висновки, що задача автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА може бути вирішена шляхом застосування методів кореляційного аналізу і обробки сигналів у реальному часі на базі комп'ютерно-інтегрованих технологій. На основі проведеного аналізу вибрано й обгрунтовано напрямок досліджень, сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено теоретичним дослідженням та обгрунтуванню нового методу автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрового нагнітача ГПА. Наведено аналіз явища помпажу і помпажних характеристик відцентрових нагнітачів з газотурбінним приводом, принципи керування агрегатом з авіаційним газотурбінним двигуном у газотранспортній системі, модель відцентрового нагнітача як об'єкта антипомпажного регулювання, результати аналізу впливу кроку дискретизації інформативних параметрів на час перехідного процесу підсистеми автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрового нагнітача ГПА, запропоновано процедуру ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА.

Оскільки процес компримування природного газу залежить від великої кількості взаємозв'язаних вхідних величини – керувальних дій та зовнішніх впливів, структурну схему ГПА ДКС ПСГ, як об'єкта керування, розглядали у відповідності з поставленими задачами, як це наведено на рис. 1.

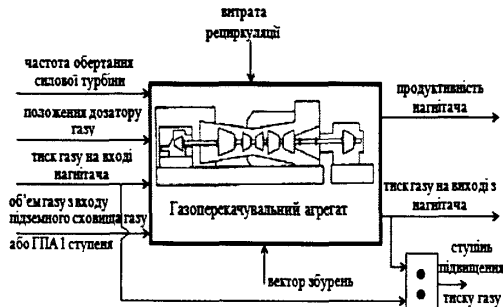


Рисунок 1- Структурна схема ГПА як об'єкта керування

Структурна схема побудована відповідно до технологічних вимог, які розроблені ДК «Укртрансгаз».

При побудові математичної моделі ВН було враховано, що стан ГПА в кожний момент часу  $t$  з певною точністю можна охарактеризувати компонентами вектора вихідних змінних:



$$\bar{x}^T(t) = (Q_{\text{пр}}(t), E(t), P_{\text{вих}}(t)), \quad (1)$$

де  $Q_{\text{пр}}(t)$  – продуктивність нагнітача;  $E(t)$  – ступінь підвищення тиску газу;  $P_{\text{вих}}(t)$  – тиск газу на виході нагнітача.

Процес функціонування ГПА запропоновано розглядати як послідовну зміну його станів. При переході від одного миттєвого стану до іншого значення  $Q_{\text{пр}}(t)$ ,  $E(t)$ ,  $P_{\text{вих}}(t)$  змінюються, тобто є функціями стану та часу і їх можна назвати характеристиками стану об'єкта. На ГПА впливає велика кількість зовнішніх впливів, але далеко не всі вони суттєві. З множини зовнішніх впливів відібрали лише ті, які для розв'язуваної задачі ідентифікації є найбільш суттєвими. Це в першу чергу керувальні дії

$$\bar{u}^T(t) = (Q_{\text{вх}}(t), N_{\text{ст}}(t), P_{\text{вх}}(t)), \quad (2)$$

де  $Q_{\text{вх}}(t)$  – об'єм газу на вході нагнітача;  $N_{\text{ст}}(t)$  – частота обертання силової турбіни;  $P_{\text{вх}}(t)$  – тиск газу на вході нагнітача.

Окрім того, об'єкт характеризується також деякою кількістю постійних величин  $\bar{z}(t)$ :

$$\bar{z}^T(t) = (z_{\text{завд}}(t), \text{полож. ДГ}),$$

де  $z_{\text{завд}}(t)$  – задана оператором частота обертання ротора нагнітача; полож. ДГ – положення дозатора газу, та вектором збурень  $\bar{f}(t)$ , від яких залежать характеристики стану ГПА.

Внаслідок дії таких збурень як технічний стан нагнітача, хімічний склад реального транспортованого газу, температура навколишнього середовища, атмосферний тиск та ін., вхідні і вихідні параметри ГПА змінюються в часі (рис.2).

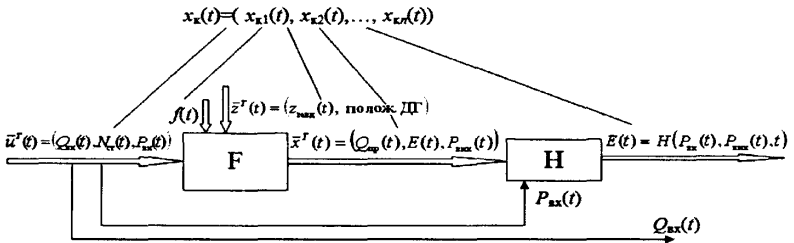


Рисунок 2 - Функціональна схема моделі ГПА як об'єкта автоматичної ідентифікації

Отже, кожна із вхідних величин є функцією керувальних дій  $\bar{u}^T(t)$  і зовнішніх впливів  $\bar{z}(t)$  та  $\bar{f}(t)$ :

$$\bar{x}_i(t) = F_i(\bar{u}(t), \bar{z}(t), \bar{f}(t)), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість вихідних величин.

Вплив ГПА на антипомпажний клапан характеризується значенням вихідної величини  $E$ , тобто ступенем підвищення тиску газу. Вона визначається через параметри стану  $P_{\text{вих}}(t)$  та вхідний вплив  $P_{\text{вх}}(t)$ :

$$E(t) = H(P_{\text{вх}}(t), P_{\text{вих}}(t), t). \quad (4)$$

Необхідність введення до розгляду цього параметру виникає у зв'язку з необхідністю ідентифікації помпажних характеристик ГПА, які функціонально зв'язані зі станом ГПА. Отже, параметри стану ГПА  $\bar{x}^T(t)$  і керувальні дії  $\bar{u}^T(t)$  є найбільш універсальними характеристиками ГПА. Оскільки принципове вирішення задачі антипомпажного регулювання і захисту може бути здійснене не тільки шляхом виявлення коливальних у проточній частині ВН, але й застосуванням швидкодіючих антипомпажних клапанів з системою випереджувального антипомпажного регулювання, що складається з малоінерційних ланок з оптимальним періодом дискретизації сигналів, тому розглянуто вплив кроку дискретизації на час перехідного процесу системи автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА. Графік залежності часу перехідного процесу від кроку дискретизації наведено на рис.3.

Рівняння, що описує цю залежність наступне:

$$t_p = 14.3289 - 4.2038\Delta t + 0.5192 \Delta t^2 - 0.0284 \Delta t^3 + 0.00065\Delta t^4. \quad (5)$$

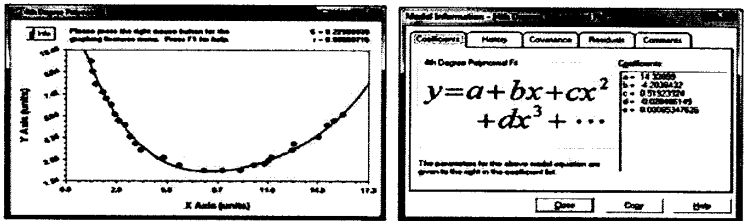


Рисунок 3 - Графік залежності часу перехідного процесу  $t_p$  від кроку дискретизації  $\Delta t$

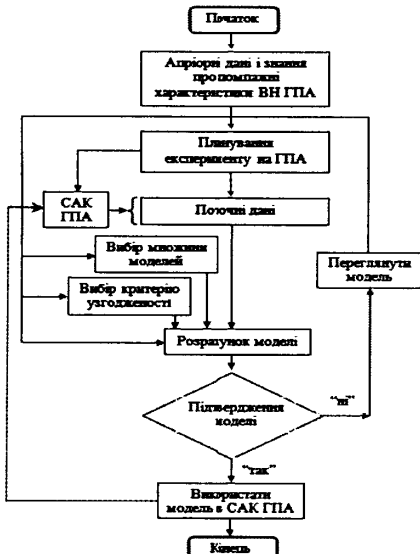


Рисунок 4 – Контур ідентифікації помпажних характеристик ВН у структурі САК ГПА

Встановлено (рис.3), що час регулювання має мінімум, коли крок дискретизації  $\Delta t \approx 7$  мс. Отже, вибір оптимального кроку дискретизації дозволяє зменшити час перехідного процесу системи автоматичної ідентифікації помпажних характеристик газоперекачувального агрегату ДКС ПСГ.

Запропоновано ідентифікацію помпажної характеристики відцентрового нагнітача ГПА здійснювати за умов експлуатації (рис. 4.) у структурі САК ГПА.

Показано, що важливим інструментальним засобом рішення цієї ітеративної задачі є діалогове програмне забезпечення.

У третьому розділі приведено методику і результати експериментально-аналітичних досліджень статистичних

характеристик коефіцієнту помпажу, ступення підвищення тиску газу  $E$  і масової витрати газу  $Q$ , а також функції передачі ВН ГПА, які виконувались на ГПА № 9 ДКС ПСГ «Більче-Волиня». Розроблено метод автоматичної ідентифікації реальних приведених витратно-напірних характеристик ВН.

На основі аналізу часових рядів коефіцієнту помпажу  $K_{\text{pompag}}(t)$  з використанням програмного пакету MathCad були визначені статистичні характеристики цього випадкового процесу.

Визначили, що процес підпорядковується нормальному закону розподілу (перевірку здійснили за критерієм Пірсона  $\chi^2$ ).

На основі результатів аналізу кореляційних функцій та спектральної густини ступеня підвищення тиску газу  $E(t)$  і масової витрати газу  $Q(t)$  визначено функцію передачі ВН:

$$W(p) = \frac{E(p)}{Q(p)} = \frac{7,668 \cdot 10^{-4} \cdot p + 0,619}{4,099 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1,526 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1,358} \quad (6)$$

Для аналізу основних характеристик ВН на базі функції передачі (6) скористались програмним пакетом MathCad і сформували функцію передачі у вигляді зручним для досліджень  $tf$ .

За допомогою вбудованих функцій  $step(W)$  та  $impulse(W)$  визначили відповідно перехідну (рис. 5) й імпульсну перехідну (рис. 6) функції. На основі даних характеристик можна зробити висновки, що даний об'єкт є стійким, час перехідного процесу становить 0,04 с., перегулювання відсутнє.

Застосовуючи функції  $fregs$  та  $nyquist$ , побудували відповідно АЧХ, ФЧХ та АФХ відцентрового нагнітача (рис.7,8,9).

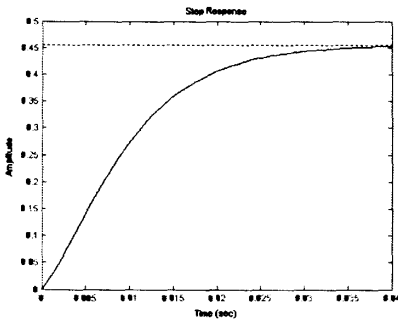


Рисунок 5 – Перехідна характеристика відцентрового нагнітача ГПА

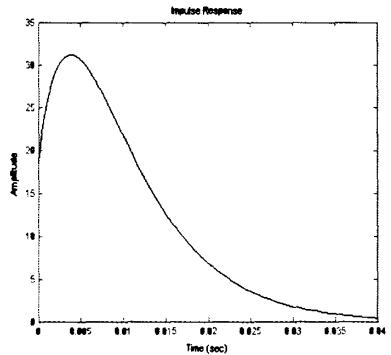


Рисунок 6 - Імпульсна перехідна характеристика відцентрового нагнітача ГПА

Для опису залежності  $E=f(Q_{\text{np}})$  досліджено 8 математичних моделей за допомогою методу комп'ютерного моделювання і програмного пакету Curve Expert-2.

Аналіз результатів засвідчив, що для опису усіх 7 витратно-напірних характеристик  $E=f(Q_{\text{np}})$  реального ВН найбільше підходить інформаційна модель 7<sup>th</sup>

Degree Polynomial Fit, для якої коефіцієнти кореляції коливаються у межах  $r=0,9995\pm 0,9998$ , а стандартна похибка  $S=0,0008-0,003$ .

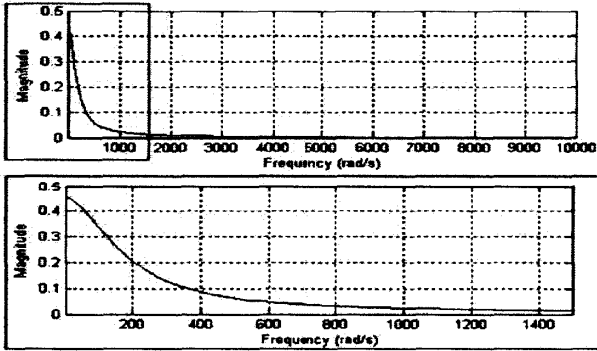


Рисунок 7 – Амплітудно-частотна характеристика ВВ

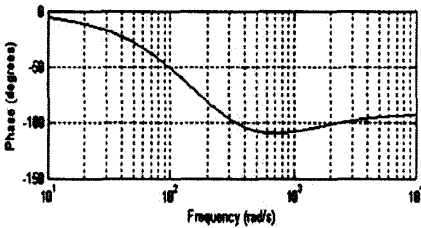


Рисунок 8 – Фазо-частотна характеристика ВВ

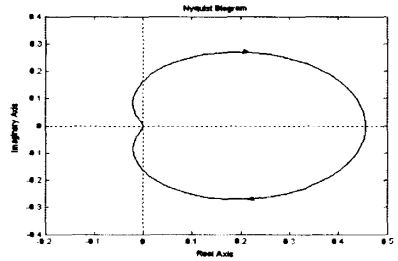


Рисунок 9 – Амплітудно-фазова характеристика ВВ

З метою практичного використання моделі 7<sup>th</sup> Degree Polynomial Fit запропоновано спочатку для стабільного режиму роботи ВВ визначити витрату за формулою:

$$Q = K_{\text{конф}} \sqrt{\Delta P_{\text{конф}} \cdot \rho^{-1}}, \quad (7)$$

де  $Q$  – об'ємна витрата газу на вході ВВ;  $K_{\text{конф}}$  – коефіцієнт витрати конфузора;  $\Delta P_{\text{конф}}$  – перепад тиску на конфузори;  $\rho$  – густина газу на вході ВВ, а потім обчислити приведену витрату  $Q_{\text{пр}}$ . Далі за вимірними параметрами ГПА визначається приведена ступінь підвищення тиску  $E_{\text{пр}}$ , яка відповідає приведеним параметрам газу з а формулою:

$$E_{\text{пр}} = E \left[ \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)_{\text{пр}} \right]^{-2}, \quad (8)$$

де  $(n/n_{\text{ном}})_{\text{пр}}$  – приведена відносна частота обертання нагнітача.

Далі складається система рівнянь, яка містить залежності приведенного ступеня підвищення тиску і приведенної витрати для кожного із  $n$  режимів роботи ГПА у вигляді поліномів 7-го порядку із невідомими коефіцієнтами:

$$E_{np1} = A + A_1 Q_{np1} + A_2 Q_{np1}^2 + A_3 Q_{np1}^3 + \dots + A_7 Q_{np1}^7,$$

$$E_{np2} = A + A_1 Q_{np2} + A_2 Q_{np2}^2 + A_3 Q_{np2}^3 + \dots + A_7 Q_{np2}^7,$$

$$E_{np3} = A + A_1 Q_{np3} + A_2 Q_{np3}^2 + A_3 Q_{np3}^3 + \dots + A_7 Q_{np3}^7, \quad (9)$$

.....

$$E_{np7} = A + A_1 Q_{np7} + A_2 Q_{np7}^2 + A_3 Q_{np7}^3 + \dots + A_7 Q_{np7}^7.$$

У результаті розв'язання цієї системи рівнянь визначаються коефіцієнти  $A, A_1 \div A_7$  та після підстановки значень  $(n/n_{ном})_{np} = 1, 1; 1,05; 1; 0,95; 0,9; 0,85; 0,8; 0,75; 0,7$  будуються криві реальних приведених характеристик ВН ГПА.

Для автоматизації процесу ідентифікації приведених витрато-напірних характеристик ВН розроблено алгоритм програми побудови приведених характеристик (рис.10).

Для практичної реалізації методу автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА розроблено програмне забезпечення, яке впроваджене в системах автоматичного керування ГПА дотискувальних компресорних станцій підземних сховищ газу «Більче-Волиця», «Опари-2» та «Дашава». Досвід експлуатації довів ефективність запропонованого методу.

Четвертий розділ присвячений розробленню та промисловій апробації експериментальних зразків підсистем автоматичної ідентифікації помпажних характеристик для різнотипних відцентрових нагнітачів на ГПА ст.№ 9 ВН-16/56-1,44 ДКС «Більче-Волиця», ГПА ст.№4 ВН-6,3/46-1,7 ДКС «Опари-2», ГПА ст.№ 4 ВН-6.3-56/1.44 ДКС «Дашава».

Розроблена підсистема повністю інтегрована в САК ГПА типу «Simens» виробництва ТОВ «Укргазтех» на базі

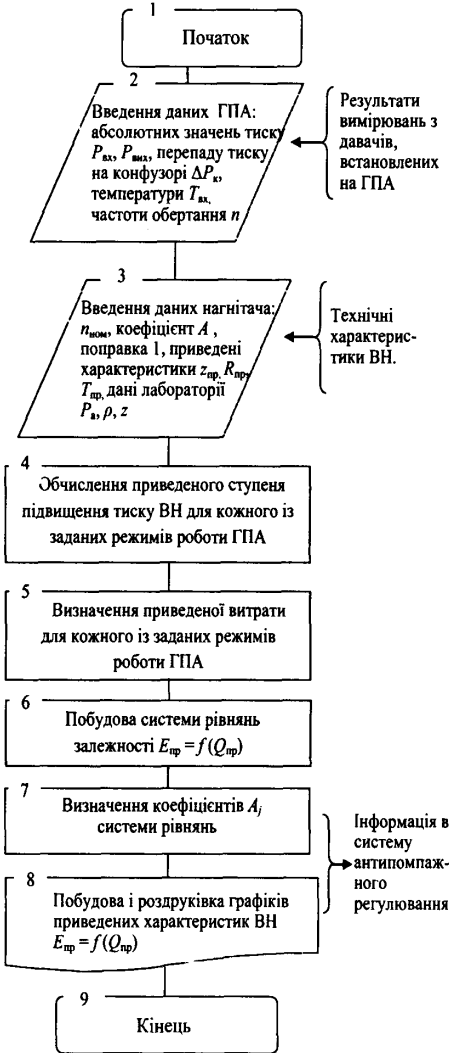


Рисунок 10 - Блок-схема алгоритму програми автоматичної ідентифікації приведених витрато-напірних характеристик ВН ГПА ДКС ПСГ

процесорів S-7-400 та S-7-300. У результаті обробки вхідних параметрів, що поступають в САК ГПА, та проведення самостійних автоматичних обчислень система отримує всі необхідні дані для побудови робочої точки, що є відображенням поточного стану нагнітача та виконуваної ним транспортної роботи в режимі реального часу.

Оскільки режими реальної експлуатації доводять, що розрахунковий метод визначення робочої точки не є абсолютно точним в зв'язку з індивідуальною характеристикою кожного конфузора, застосовуваного для вимірювань перепаду тиску газу на звужуючому пристрої нагнітача, та зношенням лопаткового апарату ВН, запропоновано проведення калібрувального тесту із задіянням замірної ділянки компресорної станції, або роботи одного досліджуваного ГПА в магістральний газопровід з наявною на ньому замірною ділянкою. Схему калібрування характеристики ВН наведено на рис.11. На графіках (рис. 12) показано результати експерименту по калібруванню нагнітача типу ВН-6,3/56-1,44 ДКС «Опарі-2». Параметр  $Q_{пр}$  – відповідає показнику витрати через нагнітач в момент перетину його з вертикальною лінією зрізу в моменти часу: 12год 39хв.- 203м<sup>3</sup>/хв. та о 12 год 41хв – 167м<sup>3</sup>/хв. З наведених графіків також можна відслідкувати зміну швидкості обертання  $N_{ст}$  з 6750 об/хв. до 6949 об/хв, а також інших параметрів ГПА.

В ході експерименту велося порівняння з показниками миттєвої витрати газу через замірну ділянку Опарського ВУПЗГ і було підтверджено правильність обчислень, що виконуються програмним забезпеченням для визначення робочої точки на графічній характеристиці відцентрового нагнітача.

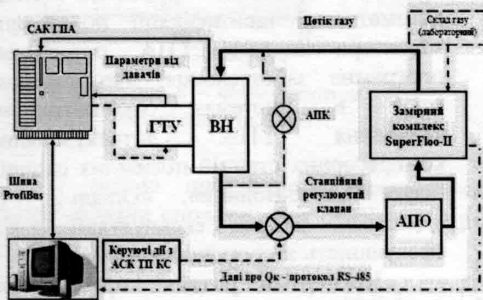


Рисунок 11- Типова схема калібрування характеристики відцентрового нагнітача

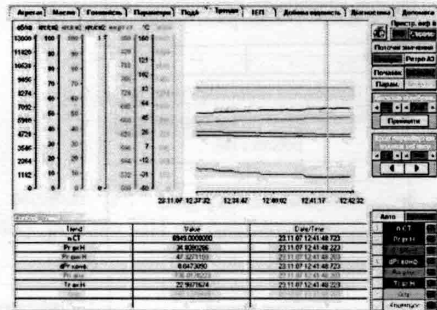


Рисунок 12- Результати експерименту по калібруванню нагнітача

Ефективність розробленого алгоритму виконання процедури калібрування помпажної характеристики нагнітача ГПА в режимі on-line підтверджена результатами експериментальних досліджень. Промисловими випробуваннями доведено також працездатність підсистеми автоматичної ідентифікації у складі САК ГПА на ГПА Ц-16 ст. № 9 ДКС «Більче-Волиця». В ході випробувань підтверджено відповідність підсистеми всім вимогам технічного завдання.

На рис.13, рис.14 наведено результати досліджень підсистеми автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА.

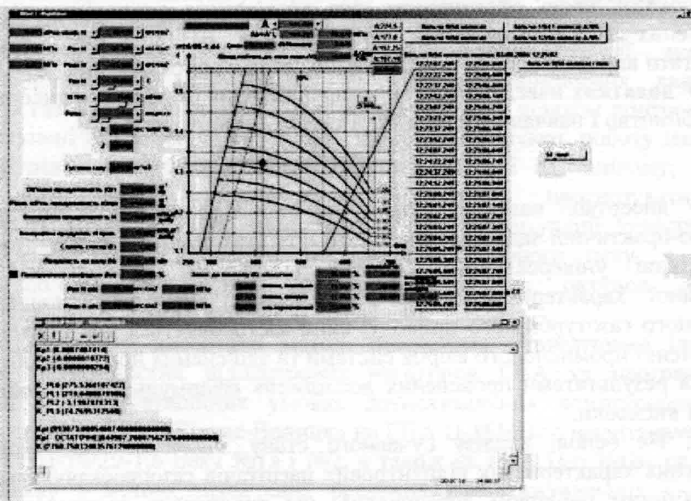


Рисунок 13 - Приклад роботи підсистеми автоматичної ідентифікації помпажної характеристики. Режим роботи ГПА – нормальний

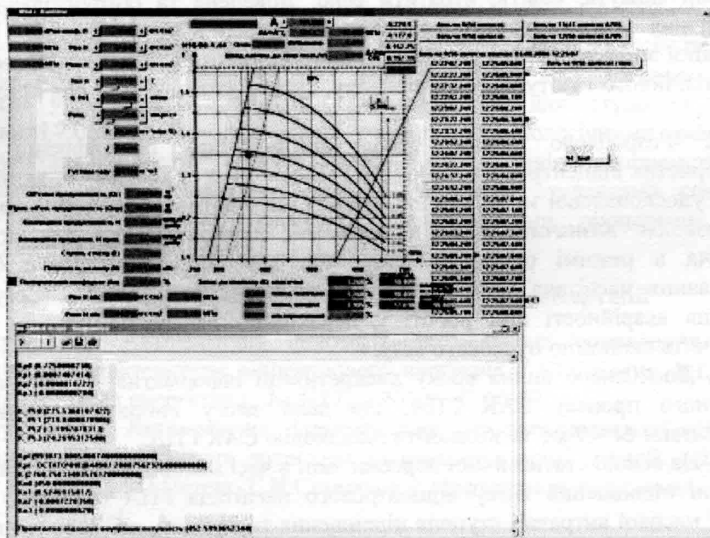


Рисунок 14 - Приклад роботи підсистеми автоматичної ідентифікації помпажної характеристики. Режим роботи ГПА – передпомпажний

Розроблений метод автоматичної ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА показав свою ефективність для розв'язання задач ідентифікації реальних приведених витратно-напірних характеристик ВН в умовах експлуатації. Усі результати впроваджено та підтверджено актами впровадження.

У додатках наведені акти про впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво і навчальний процес, а також лістинг програми.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведені теоретичне узагальнення і нове вирішення важливої науково-практичної задачі у галузі автоматизації процесів керування, яка полягає у розробленні універсального способу і системи автоматичної ідентифікації помпажної характеристики для відцентрових нагнітачів незалежно від типу авіаційного газотурбінного приводу, який застосовується для приведення їх в дію, розробленні промислового візря системи та здійснення його випробування.

За результатами проведених досліджень сформульовані та обґрунтовані такі наукові висновки:

1. На основі аналізу сучасного стану задачі автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом встановлено, що традиційно ідентифікація помпажних характеристик ГПА здійснюється на основі обробки паспортних даних або фактичних характеристик відцентрових нагнітачів ГПА, але під час вирішення цієї задачі має місце невизначеність в апріорній інформації, яка може погіршити оцінки або вони можуть, навіть, втратити сенс. Доведена та обґрунтована доцільність розроблення універсального способу і системи автоматичної ідентифікації помпажної характеристики для однотипних відцентрових нагнітачів незалежно від типу авіаційного газотурбінного приводу, який застосовується для приведення його в дію.

2. Розроблено новий метод автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрового нагнітача ГПА як об'єкта керування, який реалізовано на базі удосконаленої методики визначення його витратно-напірних характеристик. Він дозволяє визначити реальні помпажні характеристики для кожного типу нагнітача в режимі реального часу, що дозволить реалізувати більш точне регулювання нагнітача антипомпажним клапаном, що у свою чергу вплине на зниження аварійності при роботі у перехідних і передпомпажних режимах та забезпечить економію пускового газу.

3. Досліджено вплив кроку дискретизації інформативних параметрів на час перехідного процесу САК ГПА, що дало змогу вибрати оптимальний крок дискретизації  $\Delta t \approx 7$  мс та збільшити швидкодію САК ГПА.

4. На основі статистичної обробки змін в часі масової витрати природного газу і ступені підвищення тиску відцентрового нагнітача ГПА отримано кореляційні функції масової витрати і ступеня підвищення тиску газу, що дало змогу визначити функцію передачі відцентрового нагнітача, його диференційне рівняння та використати їх для розв'язання задачі автоматичної ідентифікації помпажних характеристик.



5. Удосконалено загальну структуру САК ГПА і розроблено програмне забезпечення підсистеми автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції, яка реалізує запропонований метод ідентифікації і побудову помпажних характеристик нагнітачів із газотурбінним приводом в реальному часі шляхом контролю масової витрати і ступені підвищення тиску газу, що характеризують роботу нагнітача. Це дало змогу підвищити надійність експлуатації ГПА і КС вілному, розширити можливу зону роботи відцентрових нагнітачів, прогнозувати реальну продуктивність кожного ГПА, зменшити об'єми рециркуляції транспортованого газу в передпомпажних режимах роботи компресорного цеху, а відповідно скоротити об'єми споживання паливного газу за рахунок розширення використовуваного робочого діапазону нагнітачів.

6. Розроблені у дисертації метод, підсистема автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів ГПА та програмні засоби випробувані в експлуатаційних умовах дотискувальних компресорних станцій підземного сховища газу «Більче-Волиця» на ГПА Ц-16МВт з нагнітачами типу НЦ-16/41-1,45 і НЦ-16/29-1,6 цеху №1а і №2, а також на ГПА Ц-6,3МВт ст. №№ 3,4,5 ДКС «Дашава» з метою визначення реальних навантажувальних і помпажних характеристик нагнітачів типу НЦ-56 та НЦ-41. Розроблена система автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів прийнята в промислову експлуатацію на ДКС «Більче-Волиця» Стрийського ВУПЗГ та на ДКС «Дашава» філії УМГ «Львівтрансгаз», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Викладені у дисертації наукові положення, висновки і рекомендації використовуються у лекційному курсі «Автоматизація технологічних процесів і виробництв у нафтовій і газовій промисловості» для студентів ІФНТУНГ спеціальності 7.050202 «Автоматизоване управління технологічними процесами».

Результати роботи можуть бути використані підприємствами ДК «Укртрансгаз», НАК «Нафтогаз України», а також студентами спеціальності 8.050202 «Автоматизоване управління технологічними процесами» під час написання магістерських робіт.

#### Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Бляут Ю.Є. Автоматична ідентифікація реальних приведених витратно-напірних характеристик відцентрового нагнітача // Ю.Є.Бляут, Д.І.Давиденко // Нафтогазова енергетика, № 1(17). - 2012. - С.60-69.
2. Бляут Ю.Є. Автоматична ідентифікація та антипомпажне регулювання відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції // Ю.Є.Бляут, С.Г.Гіренко, М.О.Петеш, Г.Н.Семенов // Нафтогазова енергетика, № 2(15). - 2011. - С.61-64.
3. Бляут Ю.Є. Параметрична ідентифікація помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату в режимі on-line / Ю.Є.Бляут, М.О.Петеш // Нафтогазова енергетика, № 1(14). - 2011. - С.65-75.

4. Бляут Ю.Є. Система автоматичного керування агрегатом Ц-6,3 та метрологічне забезпечення її вимірювальних каналів / Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика, № 1(12). - 2010. - С.46-49.
5. Семенцов Г.Н. Автоматична система антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів дотискувальної компресорної станції / Г.Н.Семенцов, С.Г.Гіренко, Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика, №2(13). – 2010. – С.44-53.
6. Бляут Ю.Є. Аналіз впливу кроку дискретизації інформативних параметрів під час регулювання системи автоматичної ідентифікації помпажних характеристик / Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика, №1(10). – 2009. – С.56-60.
7. Семенцов Г.Н.. Ідентифікація помпажної характеристики відцентрового нагнітача та газоперекачувального агрегату / Г.Н.Семенцов, Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика, №4(9). – 2008. – С.16-23.
8. Бляут Ю.Є. Енергоощадна технологія для антипомпажного керування відцентровим нагнітачем газоперекачувальних агрегатів дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу / Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика, №2(7). – 2008. – С.33-38.
9. Бляут Ю.Є. Результати попередніх випробувань підсистеми антипомпажного регулювання та захисту на газоперекачувальному агрегаті ГПА №9 докачуючої компресорної станції (ДКС) «Більче-Волиця» / Ю.Є.Бляут // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, №1(104). – 2008. – С.53-57.
10. Бляут Ю.Є. Алгоритмічна структура камери згорання газоперекачувального агрегату / Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика, №4(5). – 2007. – С.63-66.
11. Пат. 89302 Україна. Спосіб захисту компресора від помпажу / Беккер М.В., Шимко Р.Я., Семенцов Г.Н., Бляут Ю.Є., Гіренко С.Г., Петеш М.О., Сукач О.В., Репета А.Ф. - № а2008 07810; заявл. 09.06.2008; опубл. 25.11.2009, Бюл. №22 . – 10с.
12. Пат. 91465 Україна. Акустичний спосіб контролю передпомпажного стану відцентрового нагнітача / Беккер М.В., Шимко Р.Я., Семенцов Г.Н., Бляут Ю.Є., Гіренко С.Г., Петеш М.О., Сукач О.В., Репета А.Ф. - № а2009 07520; заявл. 17.07.2009; опубл. 26.07.2010, Бюл. №14,2010 . – 4с.
13. Бляут Ю.Є. Визначення кореляційного зв'язку ступеня підвищення тиску газу в газоперекачувальному агрегаті з масовою витратою газу / Ю.Є.Бляут, Л.І.Давиденко, Г.Н.Семенцов // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2011: научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одесса, 2012. - С.14-20.
14. Бляут Ю.Є. Результати аналізу характеристик коефіцієнту помпажу газоперекачувального агрегату дотискувальної компресорної станції / Ю.Є.Бляут, Л.І.Давиденко, Є.М.Лесів, М.О.Петеш, Г.Н.Семенцов // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании-2011: научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одесса, 2011. – С.83-97.

15. Бляут Ю.Є. Автоматизоване калібрування помпажної характеристики відцентрового нагнітача із задіянням вимірювального комплексу «SUPER FLOO-II» типу «FLOU WIN» або «FLOU HOST» / Ю.Є. Бляут, М.О.Петеш, Г.Н.Семенцов // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: VI міжнародна науково-технічна конференція: тези доповідей. – Івано-Франківськ, 2011. – С.259-263.
16. Бляут Ю.Є. Калібрування помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату (ГПА) в режимі on-line / Ю.Є.Бляут, Г.Н.Семенцов // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2011: научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одесса, 2011. - С.3-6.
17. Бляут Ю.Є. Система автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом Ц-6,3 та метрологічне забезпечення її вимірювальних каналів / Ю.Є.Бляут // АВТОМАТИКА-2010: 17 Міжнародна конференція з автоматичного управління: тези доповідей. – Харків, 2010. – С.186-188.
18. Бляут Ю.Є. Структура адаптивної системи управління типовою ділянкою газотранспортної системи / Ю.Є.Бляут // АВТОМАТИКА-2008: 15 Міжнародна конференція з автоматичного управління: тези доповідей. – Одеса, 2008. – С.704-706.
19. Семенцов Г.Н. Технологія визначення реальних приведених витратно-напірних характеристик відцентрового нагнітача / Г.Н.Семенцов, Ю.Є. Бляут // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: V всеукраїнська науково-технічна конференція: тези доповідей. – Івано-Франківськ, 2008. –С.187-190.
20. Бляут Ю.Є. Ідентифікація помпажних характеристик відцентрового нагнітача газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом / Ю.Є.Бляут // Современные направления теоретических и прикладных исследований: международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одеса, 2008. – С.37-39.
21. Бляут Ю.Є. Метод контролю границі помпажу відцентрового нагнітача природного газу за витратно-напірними характеристиками / Ю.Є.Бляут // Приладобудування 2008: стан і перспективи: VII науково-технічна конференція: збірник наукових праць. – Київ, 2008. – С.223-224.
22. Бляут Ю.Є. Аналіз методів ідентифікації помпажних характеристик газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом / Ю.Є.Бляут // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании - 2007. Международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одеса, 2007. – С.24-26.
23. Бляут Ю.Є. Методика уточнення помпажної характеристики на приведеній напірно-витратній характеристиці відцентрового нагнітача / Ю.Є.Бляут //



- Вимірювання витрати та кількості газу: V всеукраїнська науково-технічна конференція: тези доповідей. – Івано-Франківськ, 2007. –53 с.
24. Семенцов Г.Н. Спосіб визначення помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату / Г.Н.Семенцов, Ю.Є.Бляут // *Perspektywne opracowania nauki i techniki - 2007: II Międzynarodna naukowo-praktyczna konferencja. – Przemysl, 2007. – С.17-19.*
25. Семенцов Г.Н. Ієрархія і особливості автоматизованого управління газотранспортною системою / Г.Н.Семенцов, Ю.Є.Бляут // *Dynamika naukowych badan-2007: Międzynarodna konferencja. - Przemysl, 2007. – С.17-19.*
26. Бляут Ю.Є. Безударне визначення помпажної характеристики відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату Ц-16 ДКС «Більче-Волиця» УМГ «Львівтрансгаз» / Ю.Є.Бляут // *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2007: Международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одесса, 2007. – С.20-22.*

#### Анотація

**Бляут Ю.Є. Автоматична ідентифікація помпажних характеристик газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом для ефективного антипомпажного регулювання. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступення кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту, Івано-Франківськ, 2013.

Дисертація присвячена питанню автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів дотискувальних компресорних станцій підземних сховищ газу. Проведено класифікацію способів ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів з газотурбінним приводом. Теоретично досліджено зв'язок ступеня підвищення тиску газу на виході відцентрового нагнітача з масовою витратою газу, що зумовлено зміною режиму роботи газоперекачувального агрегату. Визначено частотні характеристики та функцію передачі відцентрового нагнітача. Отримано вираз залежності ступеня підвищення тиску газу від масової витрати газу, який використано для автоматичної ідентифікації помпажних характеристик газоперекачувального агрегату. Досліджено вплив кроку дискретизації інформативних параметрів на час перехідного процесу системи автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом. Розроблено новий метод автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату з газотурбінним приводом, який реалізовано на базі удосконаленої методики визначення його витратно-напірних характеристик. Удосконалено загальну структуру системи автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом і програмне забезпечення підсистеми автоматичної ідентифікації помпажних характеристик відцентрових нагнітачів дотискувальної компресорної станції, які прийняті в промислову експлуатацію на ДКС «Більче-Волиця» і «Дашава» філії УМГ «Львівтрансгаз».

Ключові слова: відцентровий нагнітач, газоперекачувальний агрегат, кореляційний аналіз, ступінь підвищення тиску газу, масова витрата газу, помпажні характеристики, автоматична ідентифікація, функція передачі, система автоматичного керування.

#### Аннотация

**Бляут Ю.Е. Автоматическая идентификация помпажных характеристик газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом для эффективного антипомпажного регулирования. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - автоматизация процессов управления. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Министерство образования и науки, молодежи и спорта, Ивано-Франковск, 2013.

Диссертация посвящена вопросам автоматической идентификации помпажных характеристик центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов дожимных компрессорных станций подземных хранилищ газа. Опыт эксплуатации дожимных компрессорных станций подземных хранилищ газа показал, что традиционная идентификация помпажных характеристик газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом осуществляется на основе обработки паспортных данных или фактических характеристик центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов. При решении этой задачи имеет место неопределенность в априорной информации, которая может ухудшить оценки или они вообще могут потерять смысл. Обоснована и доказана целесообразность разработки универсального способа и системы автоматической идентификации помпажных характеристик для однотипных центробежных нагнетателей не зависимо от типа авиационного газотурбинного привода.

Предложен новый метод автоматической идентификации помпажных характеристик центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата как объекта управления, который реализован на основе усовершенствованной методики определения его расходно-напорных характеристик. Он позволяет определять реальные помпажные характеристики для каждого типа нагнетателя в режиме реального времени, что позволяет реализовать более точное регулирование нагнетателя антипомпажным клапаном, что в свою очередь влияет на снижение аварийности при работе в переходных и передпомпажных режимах и обеспечивает экономию пускового и топливного газа.

Определена передаточная функция центробежного нагнетателя, его дифференциальное уравнение, которое использовали для решения задачи автоматической идентификации помпажных характеристик.

На основе исследований влияния шага дискретизации информативных параметров на время регулирования системы автоматического регулирования газоперекачивающим агрегатом выбрали оптимальный шаг дискретизации, что позволило уменьшить продолжительность переходного процесса системы.

Усовершенствована общая структура системы автоматического управления газоперекачивающим агрегатом и программное обеспечение подсистемы автоматической идентификации помпажных характеристик центробежных нагнетателей дожимной компрессорной станции.

Разработанная система автоматической идентификации помпажных характеристик центробежных нагнетателей принята в промышленную эксплуатацию на дожимных компрессорных станциях «Бильче-Волиця» и «Дашава» филиала УМГ «Львовтрансгаз».

Ключевые слова: центробежный нагнетатель, газоперекачивающий агрегат, корреляционный анализ, степень повышения давления газа, массовый расход газа, помпажные характеристики, автоматическая идентификация, передаточная функция, система автоматического управления.

### Abstract

**Blyaut Y.Ye. Automatic identification of the surgin characteristics for gas-compressor units equipped with the gas turbine drive for efficiency antypompage control. – Manuscript.**

Thesis in Engineering Science in speciality 05.13.07 – control processes automation. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of education and science, youth and sports of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2013.

The thesis is devoted to the issue of the automatic identification of the surgin characteristics of centrifugal superchargers for gas-compressor units of booster compressor station in the underground gas storage facilities. The identification methods of the surgin characteristics for centrifugal superchargers equipped with the gas turbine drive have been determined. The dependence of gas pressure ratio of the centrifugal supercharger on gas mass flux caused by change of the gas-compressor unit operating mode has been analyzed theoretically. The frequency curves and transfer function of the centrifugal supercharger have been determined. Formula of gas pressure ratio dependence on gas mass flux was obtained and used for automatic identification of the surgin characteristics of the gas-compressor unit. Influence of sampling rate of the gas-compressor unit information-bearing parameters was studied. The unshocked non-destructive method of the automatic identification of the surgin characteristics for the centrifugal supercharger with the gas turbine drive has been developed and implemented based on improved techniques for determining its flow and head-capacity characteristics. The general structure of the automatic control system by means of the gas-compressor unit was improved and together with subsystem software of the automatic identification of the surgin characteristics for centrifugal superchargers of the boosting compressor station was brought into pilot production at BCS “Bilche-Volytsya” and “Dashava” branch of PLD “Lvivtransgas”.

Keywords: centrifugal supercharger, gas-compressor unit, correlation analysis, gas pressure ratio, gas mass flow, surgin characteristics, automatic identification, transfer function, automatic control system.