

---

---

# Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв

---

---

УДК 681.518.52: 622.691.4

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПОМПАЖНИХ ТЕСТІВ НА ГПА ТИПУ Ц-6,3 З ГАЗОТУРБІННИМ ПРИВОДОМ Д-336-2

М.О. Петеш, Ю.Є. Бляут

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727167,  
e-mail: kafatp@ukr.net

*Стаття присвячена створенню методики проведення помпажних тестів на ГПА типу Ц-6,3 з газотурбінним приводом Д-336-2 у складі системи автоматичного керування. Визначено терміни, як використовуються у даній методиці: помпаж, передпомпаж, неусувний помпаж, антипомпажний захист, антипомпажне регулювання. Розроблено програму проведення випробувань. Основну увагу приділено методиці уточнення помпажної характеристики та приведеній напірно-витратній характеристиці відцентрового нагнітача, а також антипомпажному захисту і регулюванню. Розроблена програма прийнята в промислову експлуатацію Дашавським ВУПЗГ для ДКС «Дашава» УМГ «Львівтрансгаз».*

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, помпаж, помпажні тести випробування, помпажні характеристики, антипомпажний захист і регулювання.

*Статья посвящена созданию методики проведения помпажных тестов на ГПА типа Ц-6,3 с газотурбинным приводом Д-336-2, входящим в состав системы автоматического управления. Определены термины, использующиеся в данной программе: помпаж, предпомпаж, надвижной помпаж, антипомпажная защита, антипомпажное регулирование. Разработана программа испытаний. Основное внимание уделено методике уточнения помпажной характеристики и приведенной напорно-расходной характеристике центробежного нагнетателя, а также антипомпажной защите и регулированию. Разработанная программа принята в промышленную эксплуатацию Дашавского ВУПЗГ для ДКС «Дашава» УМГ «Львовтрансгаз».*

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, помпаж, помпажные тесты испытания, помпажные характеристики, антипомпажная защита и регулирование.

*The article is devoted to the creation of methodology for surge tests conduction on GPU (gas-pumping unit) of C-6,3 type with D-36-2 gas turbine drive that is a part of automatic control system. Terms used in this program were defined; they are as follows: surge, presurge, faucet surge, anti-surge protection, anti-surge regulation. A testing program was developed. Special attention was given to the method of surge characteristics clarifying and estimated pressure-cost characteristics of a centrifugal supercharger and anti-surge protection and regulation. The developed program has entered the commercial operation of Dashava VUPZH for BCS (booster compression station) "Dashava" of gas-main pipeline management "Lvovtransgaz".*

Keywords: gas pumping unit, surge, surge tests, surge characteristics, anti-surge protection and regulation.

**Вступ.** 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 довів, що значну частину відмов обладнання ДКС ПСГ складають аварійні зупинки, спричинені безпосередньо явищами помпажу [1]. 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

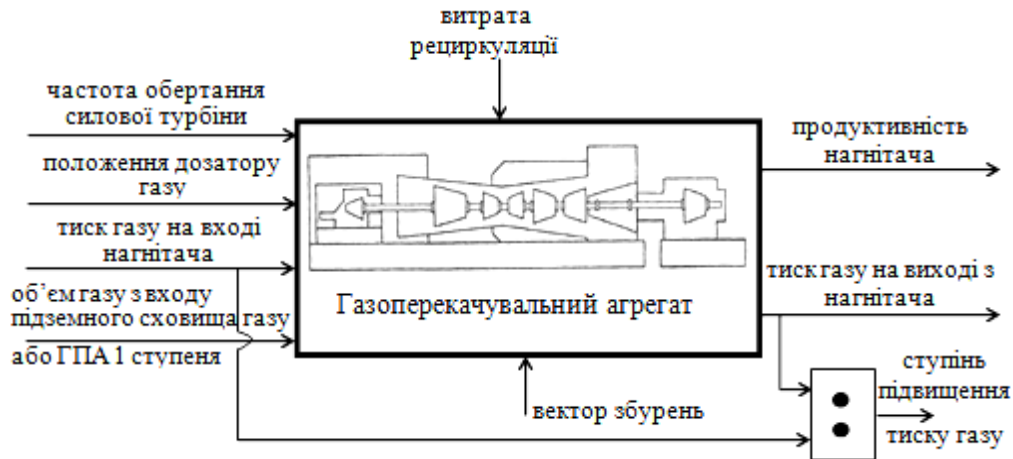


Рисунок 1 – Структурна схема ГПА як об'єкта керування

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, а також методики проведення помпажних тестів.

#### Аналіз стану досліджень та публікацій.

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 завданнями досліджень, як це відображено на рис. 1.

Структурна схема побудована відповідно до технологічних вимог, розроблених 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).

Отже, кожна із вхідних величин є функцією надійності 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

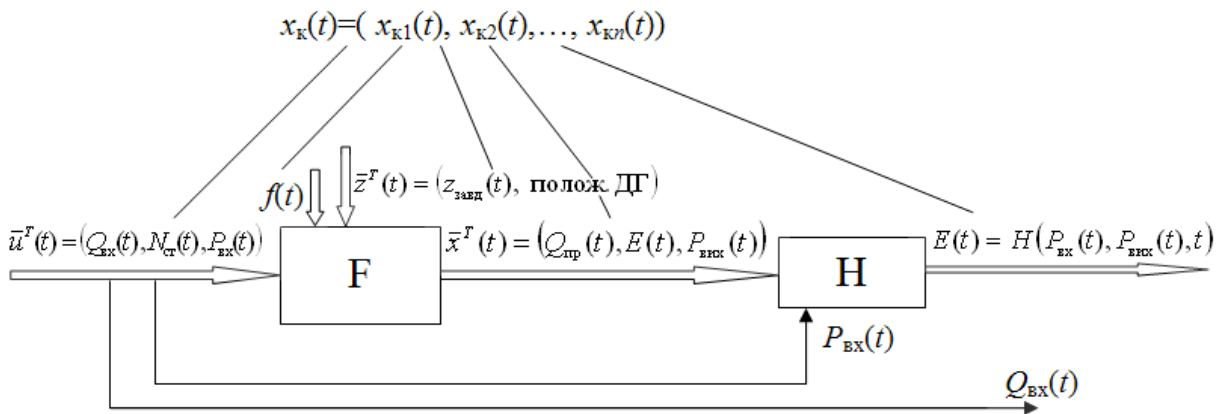


Рисунок 2 – Функціональна схема моделі ГПА як об’єкта автоматичної ідентифікації

визначається через параметри стану  $P_{вих}(t)$  та вхідний вплив  $P_{вх}(t)$ :

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

Проведений аналіз методів і сучасних технічних засобів ідентифікації помпажних характеристик ВН ГПА з газотурбінним приводом дав змогу 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.Селєзньова, А.Д.Тевяшева, I.R.Baher, T.Downer, E.O.King, I.F.Kuhlberg, H.Pearson, D.E.Sherrard та ін.. [1], 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.

**Виділення невирішених проблем.** 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: надійність 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 помпажних тестів у реальному часі на базі комп’ютерно-інтегрованих технологій.

**Формування мети.** Метою даної роботи є розроблення методики проведення помпажних тестів на ГПА типу Ц-6,3 з газотурбінним приводом Д-336-2.

**Результати.** Об’єктом випробувань є підсистема антипомпажного регулювання (АПР), що функціонує у взаємодії з центральною частиною САК ГПА Ц-6,3, системою керування подачею палива, швидкодіючим антипомпажним клапаном (АПК) («Моквелд» або «Фішер»), встановленим на вихідному колекторі (послідовно з краном №6) обв’язки нагнітача та призначеним для антипомпажного регулювання та захисту цього нагнітача з наближенням до помпажних явищ.

Методика розроблена згідно з «Технічними вимогами до систем антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів», які затверджені наказом ДК «Укртрансгаз» №399 від 30.12.1999 р. та «Програми випробувань антипомпажного регулювання ДКС «Більче-Волиця», а також згідно акту від 18.05.2007р. про приймання у промислову експлуатацію системи автоматичного керування газоперекачувальним агрегатом ГПА-Ц-16 постачання ТОВ «Укргазтех» для ДКС «Більче-Волиця» Стрийського ВУПЗГ УМГ «Львівтрансгаз».

Нижче наведено визначення термінів, які використовуються у даній методиці. Помпаж системи «нагнітач ГПА-трубопровід» – це ав-

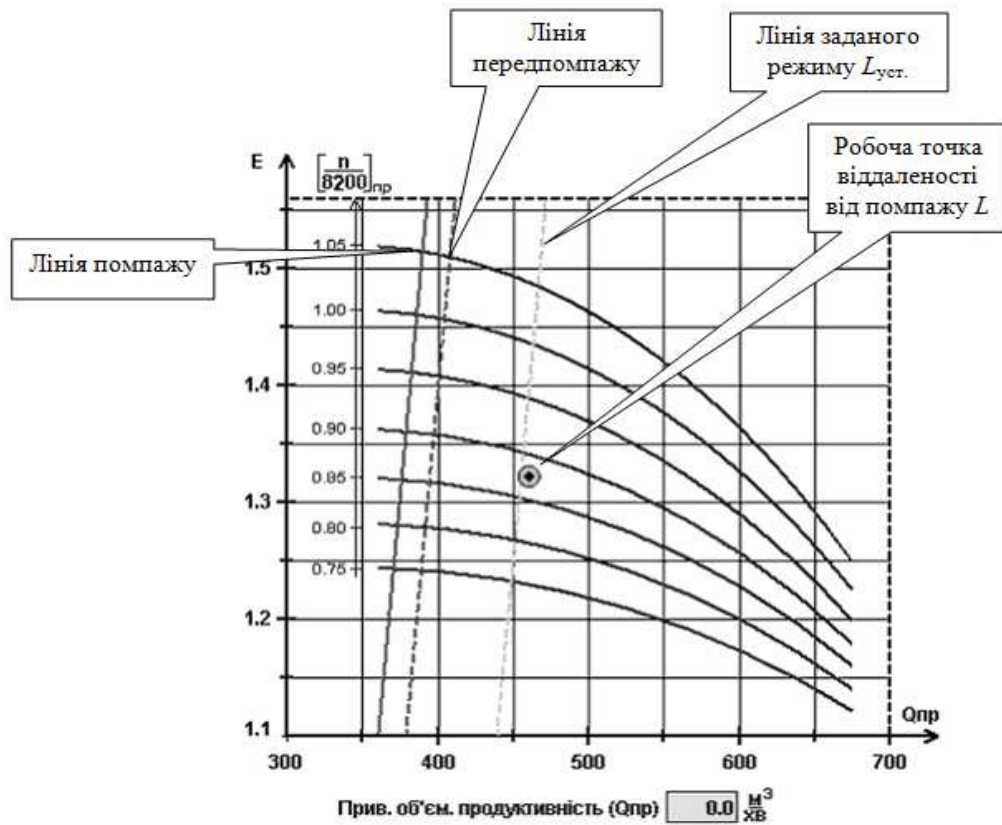


Рисунок 3 – Витратно-напірні характеристики відцентрового нагнітача

токоливальний процес обміну енергії між частинами системи «нагнітач ГПА» і «трубопровід». Втрата стійкості роботи цієї нелінійної системи виникає при неузгодженості витратно-напірних характеристик нагнітача та трубопроводу. Першопричиною помпажу є зривні явища, що розвиваються в прилеглому шарі потоку газу на лопатях робочого колеса у міру зниження витрати нагнітача до порогового (помпажного) рівня  $Q_{п}$ . На пристрої оператора САК ГПА робоча точка віддаленості від зони помпажу відображається на мнемосхемі «техніко-економічні показники» (ТЕП) у графічному вигляді і оцінюється за формулою:

$$L = \frac{Q_{ном} - Q_{п}}{Q_{п}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де  $Q_{ном}$  – поточна об'ємна витрата;  
 $Q_{п}$  – максимальна допустима помпажна об'ємна витрата.

Віддаленість робочої точки від помпажу в зоні помпажу протягом інтервалу часу, більшого 2,5 с, вважається неусувним помпажем, внаслідок якого виконується режим аварійної зупинки.

Передпомпаж – це зона нестабільної роботи, яка відповідає знаходженню віддаленості робочої точки відцентрового нагнітача від лінії помпажу від 1% до 5,0% (рис. 3).

Положення лінії помпажу та лінії передпомпажу уточнюється після першого етапу випробувань - визначення помпажної характеристики. Неусувний помпаж - неможливість відновлення необхідної витрати через нагнітач за

рахунок керування рециркуляцією впродовж інтервалу, що не перевищує 2,5 с, або перевищення допустимого перепаду тиску газу на захисній гратці.

Антипомпажний захист (АПЗ):

- ідентифікація помпажу з формування сигналу "Помпаж";
- переривання виниклого помпажу шляхом форсованого відкриття АПК з подальшим переходом до режиму антипомпажного регулювання (АПР);
- формування сигналу "АЗ" (аварійна зупинка) при ідентифікації неусувного помпажу.

Антипомпажне регулювання – випереджувальне керування антипомпажним клапаном, що запобігає виникненню помпажу і обмежує мінімальне значення віддаленості робочої точки відцентрового нагнітача від межі помпажу на заданому рівні ( $L_{уст} > 5\%$ ):

- виведення робочої точки із небезпечної зони ( $L < L_{уст}$ ) при компенсації швидкозмінних і значних збурень;
- рух робочої точки вздовж лінії регулювання ( $L \approx L_{уст}$ ), яка зсувається відповідно до зміщення межі помпажу зі зміною частоти обертання нагнітача (завантаження в трасу, виведення з траси);
- стабілізація робочої точки на віддаленості уставки ( $L = L_{уст}$ ) при компенсації сталих збурень;
- повне закриття АПК при ( $L > L_{уст}$ );

Уставка запасу регулювання ( $L_{уст}$ ) повинна вводитись в САК ГПА Ц-6,3 оперативним персоналом КЦ з пристрою оператора (ПО) САК



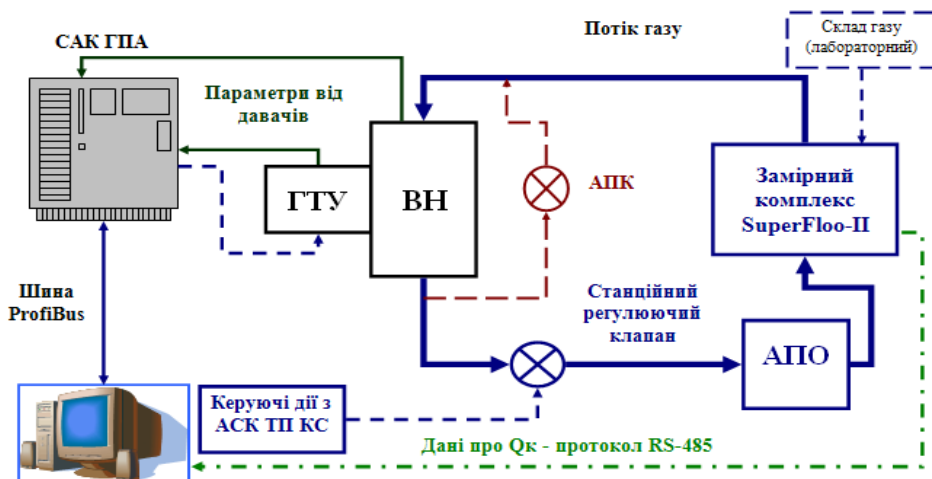


Рисунок 4 – Типова схема калібрування витратно-напірної характеристики відцентрового нагнітача

ГПА Ц-6,3 і постійно відображатися на екрані ПО. Введення уставки повинне бути захищене від несанкціонованої зміни через пароль.

Методика передбачає поетапне проведення наступних випробувань на ГПА Ц-6,3 ДКС "Дашава" УМГ "Львівтрансгаз": 1-й етап – визначення помпажної характеристики; 2-й етап – випробування роботи систем антипомпажного захисту і регулювання.

Виходячи з необхідності оцінки параметрів АПР в основних ("магістраль"), а не проміжних ("кільце") умовах роботи, випробування АПР повинні проводитися в режимі "магістраль".

Випробування треба провести на ГПА Ц-6,3 з різними типами змінних проточних частин: ЗПЧ-6.3-29М/1.65, ЗПЧ-6.3-41/1.45, ЗПЧ-6.3-56/1.45.

Типова схема калібрування характеристики відцентрового нагнітача приведена на рис. 4 і складається з таких основних складових.

Газоперекачувальний агрегат з ГТУ – газотурбінною установкою типу НК-16СТ та відцентровий нагнітач типу ВН-16/56-1,44 з приводом від силової турбіни СТ.

САК ГПА типу «Сіменс» виробництва ТОВ «Укргазтех» на базі процесорів S-7-400 та S-7-300.

Пульт оператора, або ПЕОМ типу ноутбук зі встановленим програмним забезпеченням (ПЗ) WinCC – Windows Control Center розробки фірми "Siemens" та ПЗ для опитування замірною комплексу "SuperFloo-II" типу "FlouWin", або "FlouHost". ПЕОМ під'єднується до САК ГПА за допомогою стандартного протоколу ProfiBus, а до витратомірного комплексу – через СОМ-порт за протоколом RS-485.

Регулюючий клапан типу RZD "Mokveld", або "Fisher" великого діаметру ДУ 300...400 мм – керований від автоматизованої системи керування технологічним процесом компресорної станції. Найбільш безпечним і зручним є використання регулюючого клапана, що керується від загальностанційної від пульта оператора чи ПЕОМ. Це забезпечує постійний контроль за

положенням клапана та можливість точного аналогового регулювання його положення.

Антипомпажний клапан ГПА – керований від пульта оператора, або ПЕОМ через САК ГПА типу RZD "Mokveld", або "Fisher" малого діаметру ДУ 150-300мм. Система антипомпажного регулювання на час процедури калібрування повинна бути переведена в режим захисту (без регулювання): відпрацювання аварійної зупинки ГПА, якщо виник неусувний помпаж на час більше ніж 2,5 секунди.

До схеми «станційне кільце» необхідно включити апарати повітряного охолодження, що забезпечать в процесі експерименту підтримання нормальної робочої температури газу після компримування.

Експеримент розпочинають з найбільш середньостатистичного (ненавантаженого) режиму, а далі шляхом прикриття регулюючого клапана, або станційного режимного крану створюють опір руху газу по вихідному трубопроводу. Також поетапно проводиться підймання та пониження обертів силової турбіни ГТУ та, відповідно, нагнітача.

Метою першого етапу експерименту є перевірка відповідності положення робочої точки на графічній навантажувальній характеристиці нагнітача реальним показникам шляхом звіряння на різних режимах роботи ГПА таких параметрів:

Q<sub>пр</sub> – витрата через нагнітач, показник на осі X графіку повинен відповідати даним, які отримуються з витратомірної дільниці;

N<sub>ст</sub> – оберти силової турбіни повинні відповідати положенню робочої точки на номограмі, приведений до номінальних;

Е – обчислена системою ступінь підвищення тиску газу повинна відповідати положенню робочої точки відносно осі Y.

За умови відповідності всіх перелічених показників з реальними параметрами, які контролюються замірною дільницею та системою САК ГПА можна переходити до зміни режиму роботи агрегату шляхом впливу на регулюючий

клапан, або керування обертами силової турбіни. Успішним можна вважати експеримент, який забезпечує максимально точну збіжність показників перелічених параметрів в трьох різних режимах:

- велика витрата, низькі оберти, низька ступінь підвищення тиску газу: регулюючий клапан максимально відкритий;

- середня витрата, максимально можливі оберти, ступінь підвищення тиску газу вище середньої: регулюючий клапан прикривається до моменту забезпечення ступеня підвищення тиску газу вище середньої;

- мінімальна витрата, високі оберти, ступінь підвищення тиску газу максимальна: регулюючий клапан максимально прикривається для забезпечення мінімально можливої витрати.

Визначення помпажної характеристики. Метою проведення цього випробування є уточнення помпажної характеристики на приведений напорно-витратний характеристичний нагнітач (мнемосхема ТЕП на пульті оператора).

Ця характеристика формується по трьох точках на різних частотах обертання (6500 об/хв., 7200 об/хв. і 7900 об/хв.) силової турбіни (СТ) при роботі ГПА в режимі "магістраль" і різних робочих тисках в нагнітачі (визначається керівником випробувань) з створенням помпажа нагнітача шляхом прикриття загальностанційного режимного крану.

Метод створення помпажної ситуації визначає керівник випробувань:

Кран №52 закритий.

Кран №6Па - відкритий.

При виході на "Магістраль" закривають режимні крани II групи.

Кран №6Б - закритий.

Кран №6БР - закритий.

Кран №6В - залишається відкритим.

Шляхом плавного прикриття загальностанційного режимного крану №6Па створюємо помпажну ситуацію.

На час цих випробувань відключаються антипомпажний захист (АПЗ) спеціалістами розробника САК ГПА Ц-6,3 з дозволу керівника випробувань, про що робиться запис в журналі. За командою керівника випробувань проводиться запуск ГПА в режимі "Магістраль". Нагнітач ГПА доводиться до помпажного стану за командою керівника випробувань за швидкості обертання  $ST=6500$  об/хв. і ідентифікується помпаж цього нагнітача (переривання виниклого помпажу проводиться шляхом форсованого відкриття АПК на ГПА з пульта оператора. Після цього ГПА переводиться до звичайного режиму роботи.

Початком розвитку помпажних явищ в нагнітачі вважається самовільна комплексна зміна параметрів, наприклад: зріст швидкості обертання СТ з подальшим коливальним процесом; різке зниження значення параметра перепаду тиску на конфузори нагнітача; фіксування явищ помпажу «на слух».

Результати проведених випробувань за швидкості обертання  $ST=6500$  об/хв заносять

до протоколу випробувань. Нагнітач ГПА доводять до помпажного стану за командою керівника випробувань за швидкості обертання  $ST=7200$  об/хв та ідентифікують помпаж цього нагнітача раніше визначеним способом (переривання виниклого помпажу проводиться шляхом форсованого відкриття АПК на ГПА з пульта оператора). Після цього ГПА переводиться до звичайного режиму роботи.

Результати проведених випробувань за швидкості обертання  $ST=7200$  об/хв заносять до протоколу випробувань. Нагнітач ГПА доводять до помпажного стану за командою керівника випробувань за швидкості обертання  $ST=7900$  об/хв та ідентифікують помпаж цього нагнітача раніше визначеним способом (переривання виниклого помпажу проводиться шляхом форсованого відкриття АПК на ГПА з пульта оператора).

Після цього ГПА переводиться у звичайний режим роботи. Результати проведених випробувань за швидкості обертання  $ST=7900$  об/хв заносять до протоколу випробувань.

За командою керівника випробувань підключаються АПЗ, про що робиться запис в журналі. На основі результатів цих випробувань проводиться розрахунок і побудова помпажної характеристики і, за необхідності, вносяться зміни до програмного забезпечення САК ГПА.

Антипомпажний захист і регулювання. Метою проведення цього випробування є перевірка антипомпажного захисту і регулювання.

Перевірка вводу захищеності уставки ( $L_{уст}$  від несанкціонованої зміни через пароль і контроль діапазону припустимих (від 5% до 100%) значень можуть проводитись як на робочому, так і на зупиненому ГПА. Для випробування антипомпажного захисту і регулювання за командою керівника випробувань на пульті оператора САК ГПА Ц-6,3 відключається антипомпажне регулювання кнопкою "АПР". Нагнітач ГПА доводиться до помпажного стану за командою керівника випробувань за будь-якої швидкості обертання СТ.

Переривання виниклого помпажу повинно відбутися в автоматичному режимі шляхом форсованого відкриття АПК. Для перевірки переривання виниклого помпажу шляхом форсованого відкриття АПК з подальшим переходом до режиму регулювання. За командою керівника випробувань задається уставка робочої точки запасу по помпажу, наприклад  $L_{уст}=10\%$ , на пульті оператора САК ГПА Ц-6,3. За командою керівника випробувань проводиться пуск ГПА в режимі магістраль і нагнітач доводиться до помпажного стану при будь-якій швидкості обертання СТ.

При цьому слід переконатися, що відбулось переривання виниклого помпажу шляхом форсованого відкриття АПК з подальшим переходом до режиму регулювання.

Випробування режимів обмежувального регулювання проводиться з включеним режимом антипомпажного регулювання. Для виведення робочої точки із небезпечної зони ( $L < L_{уст}$ ) при компенсації швидкозмінних і зна-

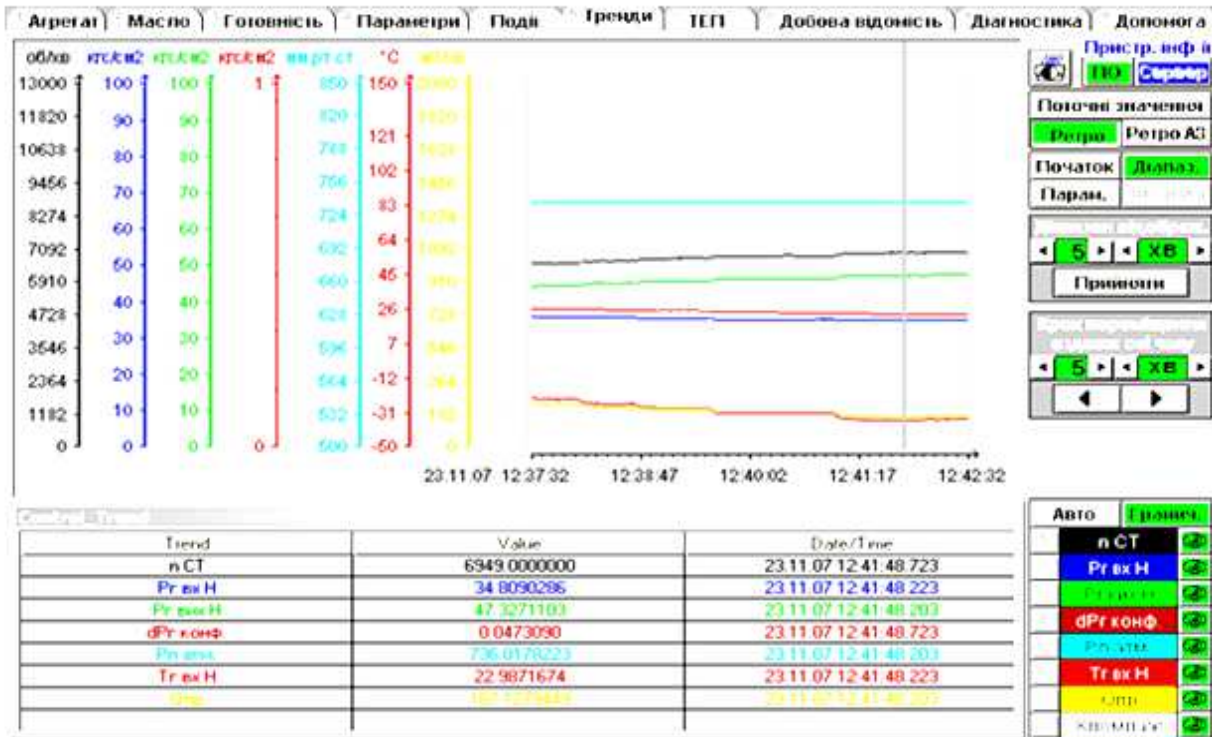


Рисунок 5 – Результати експерименту за калібруванням нагнітача

чних збурень. За командою керівника випробувань (поста) при будь-яких обертах СТ на працюючому ГПА задається уставка робочої точки запасу по помпажу, наприклад  $L_{уст} = 30\%$ , на пульті оператора САК ГПА Ц-6,3.

За командою керівника випробувань створюються швидкозмінні і значні збурення в магістралі шляхом поступового прикриття загально станційного режимного крану, не доводячи до помпажу.

Слід переконатися, що робоча точка, короткочасно перемістившись вліво від лінії заданого режиму  $L_{уст}$ , вернулась вправо від цієї лінії (див. рис. 3.).

Результати проведених випробувань занести до протоколу випробувань.

Для слідження робочою точкою за лінією регулювання ( $L < L_{уст}$ ), яка зсувається у відповідності зі зміщенням межі помпажу у випадку зміни частоти обертання нагнітача (завантаження в магістраль, виведення з магістралі). За командою керівника випробувань за будь-якої швидкості обертання СТ на працюючому ГПА задається уставка робочої точки запасу по помпажу, наприклад  $L_{уст} = 25\%$ , на пульті оператора САК ГПА Ц-6,3.

За командою керівника випробувань змінюється швидкість обертання роботи СТ, наприклад, у межах +/- 500 об./хв.

Слід переконатися що робоча точка зсувається адекватно зміщенню межі помпажу вздовж лінії заданого режиму  $L_{уст}$  (рух точки вгору зі збільшенням швидкості обертання СТ і вниз при їх зменшенні (див. рис. 3.). Подібний рух точки буде при завантаженні в магістраль і виведення з магістралі.

Для стабілізації робочої точки на віддаленості уставки ( $L < L_{уст}$ ) при компенсації сталих збурень. За командою керівника випробувань при будь-якій швидкості обертання СТ на працюючому ГПА задається уставка робочої точки запасу по помпажу, наприклад  $L_{уст} = 15\%$ , на пульті оператора САК ГПА Ц-6,3. Слід переконатися, що робоча точка знаходиться на лінії заданого режиму  $L_{уст}$  впродовж певного часу (див. рис. 3.).

Для повного закриття АПК при ( $L < L_{уст}$ ). За командою керівника випробувань за будь-якої швидкості обертання СТ на працюючому ГПА задається уставка робочої точки запасу по помпажу, наприклад,  $L_{уст} = 10\%$ , на пульті оператора САК ГПА Ц-6,3. По команді керівника випробувань (пості) створюються стійкий режим системи "нагнітач ГПА-трубопровід". Слід переконатися що робоча точка зсувається вправо, а АПК повністю закривається.

За результатами випробувань підсистеми антипомпажного регулювання САК ГПА складається протокол та акт, де дається оцінка відповідності функціональних та експлуатаційних характеристик цієї підсистеми вимогам Технічного завдання. За результатами випробувань виробник САК ГПА вносить реальну помпажну лінію для кожного типу нагнітача в підсистему АПР і АПЗ.

На графіках (рис. 5) показано результати експерименту за калібруванням нагнітача типу ВН-6,3/56-1,44 ДКС «Опари-2», що був проведений 23.11.07. Параметр  $Q_{пр}$  – відповідає показнику витрати через нагнітач в момент перетину його з вертикальною сірою лінією зрізу в моменти часу: 12год 39 хв. – 203 м<sup>3</sup>/хв та о

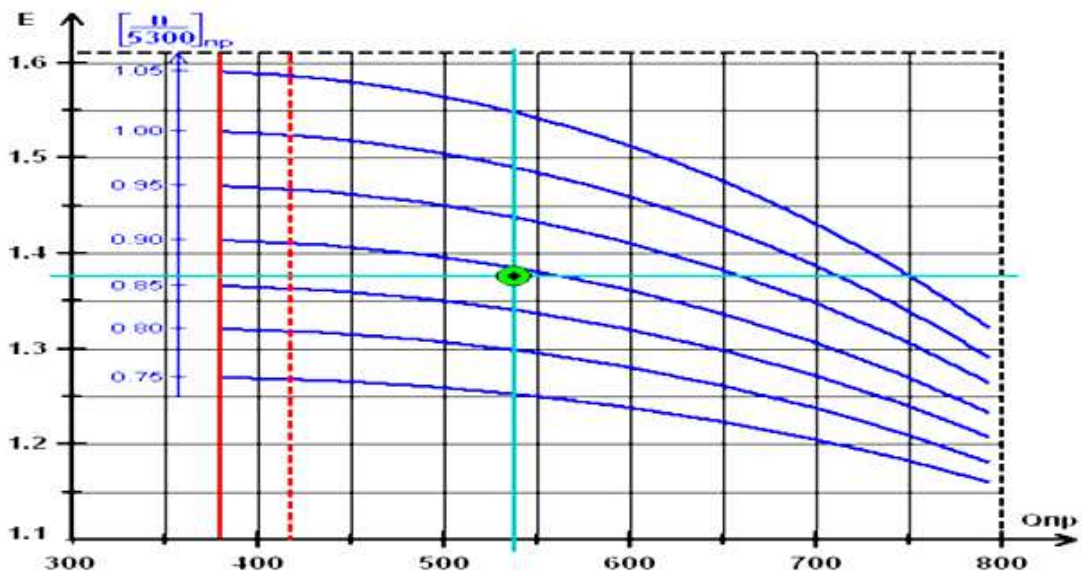


Рисунок 6 – Помпжна та витрато-напірна характеристики ГПА

12 год 41 хв – 167 м<sup>3</sup>/хв. З наведених графіків також можна відслідкувати і зміну РвхН від 35,3 кгс/см<sup>2</sup> до 34,8 кгс/см<sup>2</sup> і РвихН з 45,7 кгс/см<sup>2</sup> до 47,32 кгс/см<sup>2</sup>, а також обертів Nст з 6750 об/хв. до 6949 об/хв.

У ході експерименту велося порівняння з показниками миттєвої витрати газу через замірну дільницю Опарського ВУПЗГ і було підтверджено правильність обчислень, що виконуються програмним забезпеченням з побудови робочої точки на графічній характеристиці відцентрового нагнітача (рис. 6).

З обчисленої відомої робочої точки візуально можна зробити наступні висновки: ГПА з нагнітачем типу ВН-16/56-1,44 працює на обертах нижчих номінальних (орієнтовно 0,89\*5300 об/хв = 4717 об/хв) при підвищенні тиску газу ≈ 1,377 з приведеною продуктивністю Qпр = 540 м<sup>3</sup>/хв.

Підтримання робочої точки помпажної характеристики нагнітача поблизу помпажної зони дасть змогу забезпечити оптимальний режим роботи компресорної станції з максимальним завантаженням агрегатів і попередити аварійні ситуації.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у способі захисту компресора від помпажу [8], який включає вимірювання параметрів, що характеризують робочий режим компресора, визначають відмінність їх від заданої величини і пропорційно змінюють стан органів управління компресора.

Вимірювання перепаду тиску на конфузори нагнітача, швидкості обертання силової турбіни газотурбінного привода та нагнітача, вертикального і горизонтального вібропереміщення заданої та передньої опор нагнітача, осьового зсуву нагнітача дають змогу визначити момент настання і ступінь розвитку помпажних явищ та їх вплив на характер зміни цієї групи технологічних параметрів.

Замкнений контур регулювання та ідентифікації, що включає давачі, АЦП, програмний модуль контролера, виконавчі органи САК, функціонує в одному темпі з керованим ГПА і підтримує його за допомогою керувальних дій в оптимальному для поточних умов перекачування газу режимі.

**Висновок.** Розроблено нову методику проведення помпажних тестів на ГПА типу Ц-6,3 з газотурбінним приводом Д-336-2, яка реалізована на ДКС «Дашава» УМГ «Львівтрансгаз». Вона дає змогу визначити реальні помпажні характеристики для кожного типу відцентрового нагнітача, що дає змогу реалізувати більш точне регулювання нагнітача антипомпажним клапаном, що, в свою чергу, вплине на зменшення аварійності при роботі ГПА у перехідних передпомпажних режимах та забезпечить експлуатацію пускового газу.

#### Література:

1 Бляут Ю.Є. Автоматична ідентифікація помпажних характеристик газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом для ефективного антипомпажного регулювання: дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн.наук за спец. 05.13.07: «Автоматизація процесів керування» / Ю.Є.Бляут. – Івано-Франківськ, 2013. – 219 с.

2 Програма проведення помпажних тестів на ГПА типу Ц-6,3 з газотурбінним приводом Д-336-2; затв. Головним інженером Дашавської ВУПЗГ 19.07.2011. – 8 с.

3 Бляут Ю.Є. Автоматична ідентифікація та антипомпажне регулювання відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції // Ю.Є.Бляут, С.Г.Гіренко, М.О.Петеш, Г.Н.Семенцов // Нафтогазова енергетика. – 2011. – № 2(15). – С.61-64.



4 Бляут Ю.Є. Система автоматичного керування агрегатом Ц-6,3 та метрологічне забезпечення її вимірювальних каналів / Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика. –2010. – № 1(12). – С.46-49.

5 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.

6 Мислюк М.А. Моделювання явищ і процесів у нафтогазовій справі / М.А.Мислюк. – К.: Екор. – 1999. – 458 с.

7 Семенцов Г.Н. Автоматична система антитипажного регулювання відцентрових нагнітачів дотискувальної компресорної станції / Г.Н.Семенцов, С.Г.Гіренко, Ю.Є.Бляут // Нафтогазова енергетика. – 2010. – №2(13). – С.44-52.

8 Патент 89302 Україна. Спосіб захисту компресора від помпажу / М.В.Беккер, М.Я.Шимко, Г.Н.Семенцов Ю.Є.Бляут, С.Г.Гіренко, М.О.Петеш, О.В.Сукач, А.Ф.Репета. №а200807810, заявл. 09.06.2008, опубл. 25.11.2009, бюл. №22. –10 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
08.10.13*

*Рекомендована до друку  
професором **Семенцовим Г.Н.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Тодорцевим Ю.К.**  
(Одеський національний політехнічний  
університет, м. Одеса)*