

4. EURAMET Calibration Guide No. 13 Version 4.0 Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators (Настанови з калібрування температурних блок калібраторів).
5. Metrological confirmation of climatic and thermostatic chambers C. Barbier, B. Baute, M.-D. Blanchin, M.-C. Bonenfant, D. Durand, X. Dua, R. Dybiak, C. Imbernon, C. Lebranchu, J.-J. Poulain, M. Vandenhende STP PHARMA PRATIQUES – volume 21 – N° 3 – mai-juin 2011 p1–34.

Васильева В. Г., Шведова В. В.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КАМЕР

В статье исследовано одну из главных метрологических характеристик термостатических камер – стабильность температуры во времени в рабочем объеме камеры. Приведен пример определения данной характеристики для жидкостного термостата, который предназначен для калибровки термометров.

Ключевые слова: термостатические камеры, метрологические характеристики, стабильность температуры во времени.

Vasylieva V., Shvedova V.

ESTIMATION TEMPERATURE STABILITY AS ONE OF THE METROLOGICAL CHARACTERISTIC OF THERMOSTATIC CHAMBERS

The article explores one of the main metrological characteristic of thermostatic chambers. This characteristic is temperature stability in time. The example of estimation temperature stability is given for thermostatic bath.

Key words: thermostatic chambers, metrological characteristics, the temperature stability in time.

Рецензент: Яремчук Н. А., д-р техн. наук,
професор, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
м. Київ

УДК62-26

Фоменко Д. С., Костенко В. Л.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ УРВНОВАЖЕНИЯ ГНУЧКИХ РОТОРОВ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

У статті досліджено способи оптимізації методів балансування гнучких роторів газоперекачувальних агрегатів. Автор систематизував інформацію про роль газокompресорних станцій у газотранспортній промисловості України. Розкрито причини деформації роторів, які охоплюють амортизацію, послаблення деталей кріплення чи зміну положення деталей ротора. Встановлено гранично допустимі показники деформації гнучких роторів. Експериментально охарактеризовано використання сучасних методів балансування гнучких роторів газоперекачувальних агрегатів за допомогою використання

автобалансирів і програмних засобів, які дають змогу проектувати, конструювати й математично обчислювати недоліки гнучких роторів, пов'язані з розташуванням точок дисбалансу.

У результаті дослідження автор установив, що гнучкі ротори порівняно з жорсткими найбільше зазнають ефекту деформацій під впливом великих швидкостей обертання й підвищених температур нагрівання. Сукупно ці чинники призводять до деформацій гнучких роторів і спричиняють збої в функціонуванні газоперекачувального обладнання чи виходу агрегату з ладу. Визначено, що наявні способи врівноваження гнучких роторів полягають у застосуванні коригувальних мас для площин корекції. Сучасним способом балансування роторів є використання роликового, кулькового чи рідинного автобалансирів. Під час аналізування доведено, що кулькові автобалансири дають можливість удвічі й більше підвищити збалансованість ротора, оптимізувати затрати на виконання операції, зменшити витрати часу й унаслідок цього підвищити продуктивність роботи працівників та результативність поставлених завдань щодо перекачування газу. Встановлено, що на сучасному етапі завдяки науково-технологічним досягненням оптимізацію роторів здійснюють за допомогою використання програмних засобів, які дають можливість з максимальною точністю на етапі планування й конструювання визначити точки дисбалансу та усунути їх.

Ключові слова: газоперекачувальний агрегат, газокompресорна станція, гнучкий ротор, урівноваженість, дисбаланс, деформація, швидкість, автобалансир, програмні засоби.

Постановка проблеми загалом та зв'язок її з важливими науковими чи практичними завданнями. Наразі оптимізація функціонування газокompресорного обладнання стикається з низкою проблем, пов'язаних з тим, що немає уніфікованих алгоритмів визначення оптимального режиму роботи газоперекачувального агрегату (ГПА). Методи й алгоритми оцінювання продуктивності ГПА, наявні на сучасному етапі, розраховано на агрегати низької продуктивності, внаслідок чого немає інформації про способи оптимізації потужності й параметрів роботи ГПА без деформацій компонентів та виходу з ладу газокompресорного обладнання. Газокompресорна станція (ГС) належить до локальних об'єктів керування і її структура являє собою складний комплекс. Газотранспортна система України, що є однією з найбільших у світі, містить 81 газокompресорну станцію з 765 газоперекачувальними агрегатами [8]. Обов'язковим елементом ГС є деталі, що належать до типу тіл обертання як осі, диски, фланці, втулки тощо. Врівноваження тіл обертання є одним із важливих завдань, вирішення яких сприятиме підвищенню продуктивності функціонування ГПА. Відповідно до цього виникає необхідність у пошуку оптимальних способів урівноваження роторів газоперекачувальних агрегатів, що дасть змогу зберегти обладнання у функційно-технічному стані, тобто зменшити амортизацію, й підвищити продуктивність операцій, виконуваних під час роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми. Проблеми оптимізації режимів функціонування газоперекачувальних агрегатів і балансування роторів присвячено розробки багатьох науковців. У цьому дослідженні із зазначеного питання нашу увагу привернули праці В. М. Жарікова [3], В. П. Іванишина [4], Б. С. Ільченка [5], Б. Патона [8], А. Ю. Невдахи [7], В. І. Симоновського [9] та інших.

Дослідженню причин невірноваженості роторів і методів її усунення присвячено розробки В. М. Грищенко, Р. В. Бойкова [2], В. Є. Карпуся [6], Т. Татарського [10], Г. Б. Філімоніхіна [11], В. В. Яцуна [12], Й. А. Халіфа [13], Ш. Трессера, А. Долева, І. Бучера [14], Дж. Заквея [15] та інших.

Виділення невирішених частин загальної проблеми, яким присвячено цю статтю. Продуктивність функціонування газокompресорної станції залежить від вібраційної стабільності її компонентів. Гнучкий ротор порівняно із жорстким під час обертання на

високих швидкостях, які є наближеними до критичних, зазнає впливу відцентрових сил і може набувати суттєвої для подальшої роботи деформації. Деформовані деталі ротора стають причиною відмови функціонування обладнання або зниження його продуктивності, й це спричиняє передчасну амортизацію обладнання та його компонентів [1]. Для більшості газоперекачувальних агрегатів досягнення показника відцентрованої сили приблизно 30 % є гранично допустимим критерієм деформації. Перевищення цього показника може спричинити руйнування агрегату. Дисбаланс ротора може бути спричинено низкою труднощів: амортизацією деталей ротора; послабленням кріплення деталей, які є в роторній конструкції; деформацією або зміною положення компонентів обладнання під впливом високих швидкостей і температури тощо. Багаторазові запуски обладнання для врівноваження ротора зменшують продуктивний ресурс обладнання, оскільки деталі ротора зазнають впливу неодноразових змін температурної напруги. Наразі всі питання врівноваження роторів вирішують на етапі його монтування. Основним способом зниження неврівноваженості роторів є використання попередньо збалансованих деталей з урахуванням розташування їх у змонтованій конструкції. Цю практику започатковано в 60-х роках минулого століття, коли всі вітчизняні й зарубіжні виробники газового обладнання використовували виключно низькочастотні балансувальні агрегати. Цей метод був особливо дієвим для жорстких роторів. Однак для гнучких роторів, які працюють на великих швидкостях, цього було недостатньо. Отже, тривалий час питання оптимізації досягнення балансу залишається відкритим, особливо беручи до уваги застарілість нормативної документації, яка не враховує сучасних тенденцій в оптимізації врівноваження роторів.

Метою статті є дослідження методів оптимізації врівноваження гнучких роторів газоперекачувальних агрегатів у газокompресорних станціях для підвищення продуктивності функціонування газокompресорного обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових досліджень. Ротори встановлюють у корпус агрегату з можливістю обертання. Неврівноваженість ротора змінюється в процесі технологічних операцій. Коефіцієнт впливу й методи модального балансування є основними підходами, що використовують для балансування гнучких роторів. Більшість методів балансування ґрунтуються на лінійності системи. Модальне балансування не є просто комп'ютеризованим, оскільки воно покладається на балансування критичних режимів один за одним і тому потребує високого ступеня розуміння оператора. Кількість планів корекції, що використовують для модального балансування, також може змінюватися відповідно до прийнятої схеми балансування [13]. Інший сучасний метод балансування – це розрахунок коригувальних мас для кожної площини корекції. Дисбаланс регулярно компенсують додаванням до структури малих коригувальних мас або видаленням їх на заздалегідь визначених осьових точках. Ці коригувальні маси розміщено так, що їхні радіальні й кутові точки усувають ефект дисбалансу на всіх режимах вібрації в межах відповідного діапазону швидкості. Їх обчислюють виключно з вимірних коливань під час роботи в так званому процесі балансування [14]. Персонал, задіяний у балансуванні ротора газоперекачувального агрегату, усвідомлює труднощі, пов'язані з прикріпленням коригувальних ваг до диска ротора. Час приєднання тестових і коригувальних ваг становить приблизно 70 % часу, необхідного для вимірювання параметрів вібрації та векторних розрахунків корекції. Балансування роторів, де доступ до диска практично неможливий, оскільки він, наприклад, занурений у рідину, є ще складнішим [15, с. 61].

Для оптимізації врівноваження роторів доцільно використовувати пасивні автобалансири. Оцінювання динамічної неврівноваженості роторів визначають за результатами пуску роторів ГПА. Ротор при цьому встановлюють на пасивний автобалансир, у який, у свою чергу, додають коригувальні вантажі. Фіксування результатів зміни

положення коригувальних вантажів за допомогою фото- чи відеотехніки під час роботи ротора ГПА дасть змогу визначити розташування їх під час роботи ротора на швидкості, яка у ГПА висока. З кожним новим перезапуском обладнання коригувальні вантажі потрібно розташовувати так, щоб вони містилися один навпроти одного, але змінюючи їхні положення порівняно з попереднім. Коригувальні вантажі слугуватимуть індикатором дисбалансу. Якщо під час функціонування ротора коригувальні вантажі мають однакове розташування, можна засвідчити наявність динамічної врівноваженості. Для оптимізації неврівноваженості ротора ГПА доцільно використовувати пасивні автобалансири, розроблені в Україні та захищені її патентами. Ці автобалансири мають мобільні й нерухомі перегородки порівняно з їхніми попередниками [7, с. 14]. Для оптимізації врівноваженості роторів за допомогою пасивних автобалансирів тіло обертання закріплюють на пасивних опорах (рисунок 1).

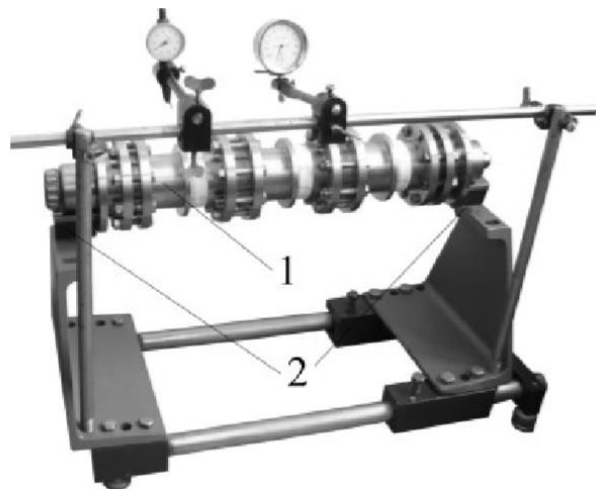


Рисунок 1. Зображення ротора з пасивним автобалансиром:
1 – ротор; 2 – пасивні опори
(розробка автора на основі даних [7, с. 14])

Щоб визначити правильність установа ротора за допомогою пасивних автобалансирів, на них необхідно розташувати пробний дисбаланс. У результаті ротор має обертатися так, щоб установлений дисбаланс після кількох флуктуацій опинився внизу (рисунок 2).

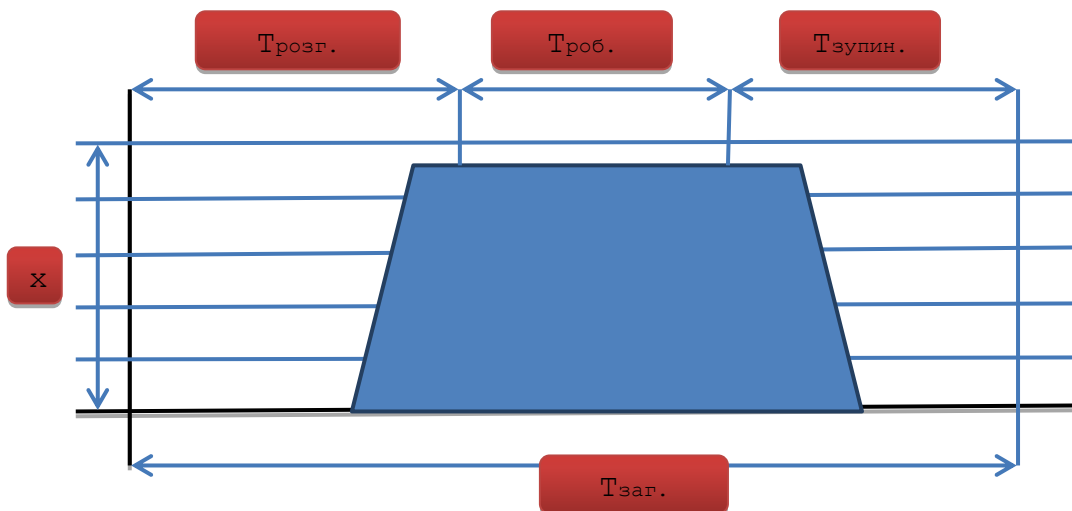


Рисунок 2. Трапецеїдний закон обертання ротора
(розробка автора на основі даних [12, с. 106])

Треба зауважити, що тип використовуваних автобалансирів не має принципового значення. Це може бути роликовий, кульковий або рідинний автобалансири. Недоліком цього методу оптимізації є можливість балансування гнучкого ротора за допомогою пасивних автобалансирів лише в межах між другою й третьою критичними швидкостями. Це пов'язано з тим, що на інших швидкостях вібрації та деформації ротора виходять за гранично допустимі. Обертання ротора з автобалансирами здійснювалося на частоті обертання 800 об/хв. При цьому час розгону та вибігу становив 3 с. Для експериментального дослідження методу балансування гнучких роторів за допомогою автобалансирів до корпусу пристрою прикріплюють кулі. Їх рух обмежується границями пасивного автобалансира. Сили опору переміщенню куль установлюють демпферами окремо для кожної кулі. Демпфування організують так, щоб під впливом ваги після вібрацій кулі переміщалися в нижню частину. Як зауважує В. В. Яцун, методика використання пасивних автобалансирів сприяє оптимізації затрат праці й часу на динамічне балансування гнучких роторів та не потребує додаткового обладнання для цього (рисунки 3) [12, с. 107].

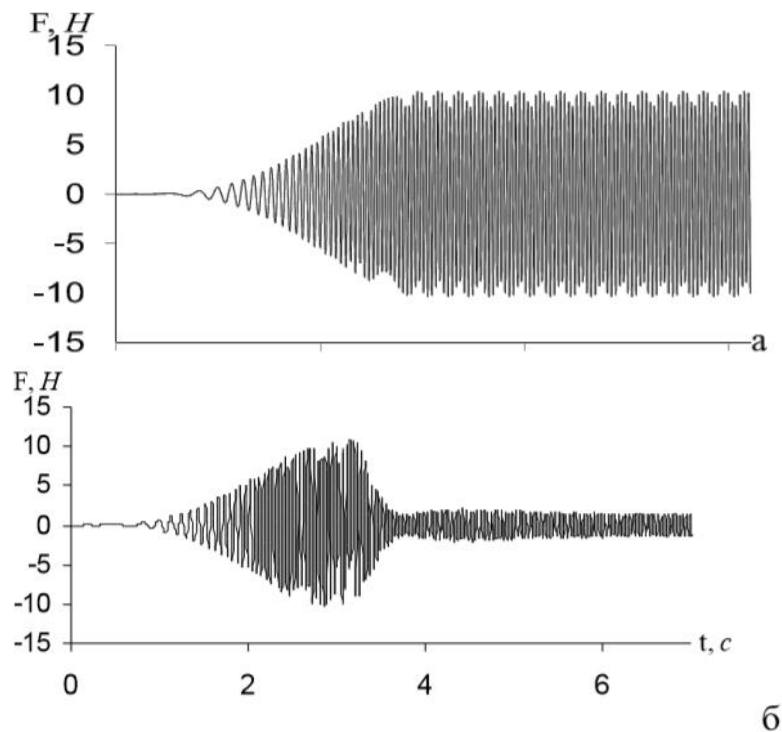


Рисунок 3. Навантаження на опори ротора:
а – до балансування за допомогою автобалансирів;
б – після балансування за допомогою автобалансирів
(розробка автора на основі даних [12, с. 107])

На сучасному етапі, який ознаменувався науково-технологічними досягненнями, інформатизацією та комп'ютеризацією багатьох виробничих операцій, методом оптимізації врівноваження гнучких роторів є застосування програмних засобів. Зокрема, найширше використовуваним програмним обладнанням є SolidWorks – програмний комплекс, призначений для автоматизації промислових операцій на підприємствах на етапах конструювання й технологізації виробничого процесу; ANSYS – універсальний програмний засіб для здійснення кінцево-елементного аналізування у сфері інженерних розрахунків та пошуку розв'язків лінійних, нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних задач механіки; Matlab/Simulink являє собою графічне середовище для моделювання графіків і побудови

імітаційних динамічних моделей; Pro/Engineer – система для проектування та інженерного аналізування будь-яких етапів виробництва для подальшої інтеграції в автоматизовану систему підприємства. Зокрема, цей програмний засіб дає змогу користувачеві комплексно й точно відтворювати виробничо-конструкторські етапи виробництва; CATIA – автоматизована система для інженерного проектування, особливо поширена в аерокосмічній, автомобільній та суднобудівній галузях тощо. С. Татарський характеризує комп'ютерно-технологічні методи балансування роторів як найбільш надійні, оскільки вони дають змогу фахівцеві отримати достовірні дані про точки невірноваження й усунути дисбаланс тіла обертання чи роторної системи додаванням або усуненням коригувальних мас [10, с. 41]. Як зазначив В. М. Грищенко, використання цих технологій для розрахунку врівноваження роторів ГПА дасть можливість зменшити їхній початковий дисбаланс у 30–110 разів [2]. Сутність оптимального проектування способів урівноваженого ротора полягає в тому, що необхідно дотримуватися вибраних параметрів. За допомогою програмного засобу ANSYS моделюють деформації металевого тіла під час обертання. Умовою моделювання способу врівноваження гнучкого ротора є дотримання таких критеріїв: $R_{1x} \rightarrow 0$, $R_{2x} \rightarrow 0$, $R_{2y} \rightarrow 0$. Тобто під час балансування динамічний критерій реакції ротора в разі обертання має зменшуватися до нуля. Для контролювання дотримання цих критеріїв необхідно використовувати функціонал fR , який має забезпечити врахування показників деформації ротора (рисунк 4).



Рисунок 4. Схема закріплення металевого тіла обертання для комп'ютерних обчислень (розробка автора на основі даних [2, с. 32])

Для проведення обчислень застосовують метод покоординатного спускання. Рядок таблиці 1 за номером 7 відповідає оптимальному критерію fR [2, с. 33].

Таблиця 1

Результати деформацій гнучкого металевого тіла обертання за моделлю fR

| № | R_{p1} , м | R_{p2} , м | b , м | R_{1x} , Н | R_{2x} , Н | R_{1y} , Н | R_{2y} , Н | fR , Н |
|----|----------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| 1 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | -542,66 | 542,66 | -939,92 | 939,92 | 2965,15 |
| 2 | 0,055 | 0,060 | 0,070 | -448,93 | 448,93 | -777,57 | 777,57 | 2452,99 |
| 3 | 0,065 | 0,060 | 0,070 | -257,25 | 257,25 | -445,58 | 445,58 | 1405,66 |
| 4 | 0,095 | 0,060 | 0,070 | 337,95 | -337,95 | 585,34 | -585,34 | 1846,57 |
| 5 | 0,0785 | 0,060 | 0,070 | 7,776 | -7,775 | 13,466 | -13,467 | 42,484 |
| 6 | 0,0763 | 0,060 | 0,070 | -36,782 | 36,782 | -63,709 | 63,708 | 200,981 |
| 7 | 0,07805 | 0,060 | 0,070 | -1,148 | 1,148 | -1,987 | 1,987 | 6,270 |
| 8 | 0,07800 | 0,060 | 0,070 | -2,486 | 2,486 | -4,305 | 4,304 | 13,581 |
| 9 | 0,07805 | 0,0605 | 0,070 | 11,354 | -11,354 | 19,666 | -19,667 | 62,041 |
| 10 | 0,07805 | 0,0593 | 0,070 | -19,657 | 19,657 | -34,047 | 34,047 | 107,408 |
| 11 | 0,07805 | 0,060 | 0,0705 | 14,152 | -14,152 | 24,512 | -24,512 | 77,327 |
| 12 | 0,07805 | 0,060 | 0,0699 | -3,430 | 3,430 | -5,940 | 5,939 | 18,739 |

Згідно з отриманими результатами моделювання переміщення точок ротора в разі деформації сягають $0,828 \times 10^{-5}$ м за напруження до 7,5 МПа. Отже, оптимального показника збалансованості досягають варіюванням параметра R_{p1} . Відповідно оптимальний критерій урівноваженості можна отримати внаслідок варіювання кожного з розмірів.

Висновки з дослідження й перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. Підсумовуючи викладене вище, можемо дійти висновку, що основним методом балансування гнучких роторів є використання коригувальних мас для площин корекції. На сучасному етапі оптимізації роботи гнучких роторів ГПА використовують автобалансири, які дають можливість віднайти точки дисбалансу й усунути їх. Пасивні балансири уможливають експлуатацію обладнання з гранично допустимим рівнем вібрації. Оптимальний спосіб балансування – використання програмних засобів, серед яких провідними є SolidWorks, ANSYS, Matlab/Simulink, Pro/Engineer, CATIA. Програмні засоби дадуть можливість віднайти дисбаланс на етапі планування й конструювання та математично обчислити способи його ліквідації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балансировка роторов [Электронный ресурс] / Северо-Западный учебный центр. – Режим доступа: <https://vibro-expert.ru/balansirovka-rotorov.html>
2. Грищенко В. М. Комп'ютерний підхід врівноваження швидкообертювальних валів трансмісійних машин / В. М. Грищенко, Р. В. Бойков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Динаміка і міцність машин. – 2015. – № 57. – С. 30–35.
3. Жаріков В. М. Сучасний стан питання оптимізації режимів роботи газотурбінних газоперекачувальних агрегатів / В. М. Жаріков // Вісник двигунобудування. – 2010. – № 2. – С. 34–40.
4. Іванишин В. П. Контроль вібраційного стану газоперекачувальних агрегатів: автореф. дис. канд. тех. наук / В. П. Іванишин. – Івано-Франківськ, 2004. – 21 с.
5. Ильченко Б. С. Оптимизация режимов работы газоперекачивающих агрегатов с учетом их функционально-технического состояния [Электронный ресурс] / Б. С. Ильченко, А. В. Свечников, А. С. Сапрыкин, В. В. Инкулис // Научно-производственный и информационный журнал «Компрессорное и энергетическое машиностроение». – Режим доступа: <http://journal.mikem.com.ua/>
6. Карпусь В. Є. Оптимізація механічної обробки тіл обертання: монографія / В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, В. О. Іванов; за ред. В. Є. Карпуся. – Харків : НТМТ, 2012. – 296 с.
7. Невдаха А. Ю. Технологічне забезпечення якості складання міжпорних роторів барабанно-дискового типу методом двох пробних складань: автореф. дис. канд. тех. наук / А. Ю. Невдаха. – Львів, 2013. – 24 с.
8. Патон Б. Концепція (проект) державної науково-технічної програми «Створення промислових газотурбінних двигунів нового покоління для газової промисловості та енергетики» / Б. Патон, А. Халатов, Д. Костенко, Б. Білека, О. Письменний, А. Боцула, В. Парафійник, В. Коняхін // Вісник НАН України. – 2008. – № 4. – С. 3–9.
9. Симоновский В. И. Динамика роторов центробежных машин / В. И. Симоновский. – Суми : Вид-во СумДУ, 2006. – 126 с.
10. Татарский С. Новое в балансировке роторов [Электронный ресурс] / С. Татарский // Пермские газовые турбины. – Режим доступа: <http://www.schenck-rotect.ru/news/press-article/ITV-PermskieGazovieTurbini.pdf>
11. Філімоніхін Г. Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами: Монографія (за спеціальністю 05.02.09 «Динаміка та міцність машин»). – Кіровоград : КНТУ, 2004. – 352 с.
12. Яцун В. В. Методика усунення динамічного дисбалансу ротора / В. В. Яцун, В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік // Вестн. ХНАДУ. – 2012. – Вып. 57. – С. 104–107.

13. Khulief Y. A. A New Method for Field-Balancing of High-Speed Flexible Rotors without Trial Weights / Y. A. Khulief, M. A. Mohiuddin, M. El-Gebeily // International Journal of Rotating Machinery, 2014. – 11 p.
14. Tresser Sh. Dynamic balancing of super-critical rotating structures using slow-speed data via parametric excitation [Electronic resource] / Sh. Tresser, Amit Dolevand Izhak Bucher. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1704/1704.08530.pdf>
15. Zachwieja J. Dynamic Balancing Of Rotors With Manual Balancers / Janusz Zachwieja // Diagnostyka, 2014. – Vol. 15. – No.4. – P. 59–64.

Фоменко Д.С., Костенко В.Л.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ УРАВНОВЕШИВАНИЯ ГИБКИХ РОТОРОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

В статье исследуются способы оптимизации балансировки гибких роторов газоперекачивающих агрегатов. Автором систематизирована информация о роли газокompрессорных станций в газотранспортной промышленности Украины. Раскрыты причины деформации роторов, которые охватывают амортизацию, ослабление крепежных деталей или изменение положения деталей ротора.

Установлены предельно допустимые показатели деформации гибких роторов.

Экспериментально охарактеризовано использование современных методов балансировки гибких роторов газоперекачивающих агрегатов с помощью использования автобалансировки программных средств, позволяющих проектировать, конструировать и математически рассчитывать недостатки гибких роторов, связанных с расположением точек дисбаланса.

В результате исследования автором установлено, что гибкие роторы по сравнению с жесткими больше всего испытывают влияния деформаций под воздействием больших скоростей вращения и повышенной температуры нагрева. В совокупности эти факторы приводят к деформациям гибких роторов и вызывают сбои в функционировании газоперекачивающего оборудования или выхода агрегата из строя. Определено, что существующие методы уравновешивания гибких роторов заключаются в применении корректирующих масс для плоскостей коррекции. Современным способом балансировки роторов является использование роликового, шарикового или жидкостного автобалансиров. В ходе анализа доказано, что шариковые автобалансиров позволяют вдвое и более повысить сбалансированность ротора, оптимизировать затраты на выполнение операции, уменьшить затраты времени и вследствие этого повысить производительность работы сотрудников и результативность поставленных задач, касающихся перекачивания газа. Установлено, что на современном этапе благодаря научно-технологическим достижениям оптимизация роторов осуществляется с помощью использования программных средств, позволяющих с максимальной точностью на этапе планирования и конструирования определить точки дисбаланса и устранить их.

Ключевые слова: *газоперекачивающий агрегат, газокompрессорная станция, гибкий ротор, уравновешенность, дисбаланс, деформация, скорость, автобалансир, программные средства.*

Fomenko D. S., Kostenko V. L.

OPTIMIZATION OF METHODS OF FLEXIBLE ROTOR BALANCING OF GAS PUMPING MACHINES AIMED AT THE PRODUCTIVITY INCREASE OF GAS COMPRESSOR STATION

The article is devoted to optimization methods of flexible rotor balancing in gas pumping machines. The authors systematized information on the role of gas compressor stations in the gas transport industry of Ukraine. The causes of rotors' deformation, which include the damping, loosening of

fastening parts or changing the position of rotor parts were revealed. The maximum allowable parameters of flexible rotors' deformation were established. The use of modern balancing methods of flexible rotors in gas-pumping machines with the assistance of auto balancing units and software tools that allow to design, construct and mathematically calculate the disadvantages of flexible rotors associated with the location of imbalance points was experimentally characterized and proved.

As a result of the study, the author found that flexible rotors compared with rigidar most affected by deformations under the influence of the high speeds and increased heating temperatures. Taken together, the sefactors lead to deformations of flexible rotors and cause malfunctioning of gas pumping equipment or failure of the unit. It is determined that existing methods of balancing flexible rotors consist in the application of corrective masses for correction planes. The modern way of balancing the rotors is the use of roller, ball or liquid auto balancing units. In the course of the analysis, it has been proved that ball auto balancing units will increase the balance of the rotor twice and more, optimize the costs of the operation, reduce the time consuming and, as a result, increase the productivity of the workers and the efficiency of the tasks set for the gas pumping. It is established that at present, due to the scientific and technological achievements, optimization of rotors is carried out with the help of software tools, which allow determining the point sofim balance and to eliminate them with maximum precision at the planning and design stage.

Keywords: *gas pumping unit, gas compressor station, flexible rotor, balance, imbalance, deformation, speed, auto balancinggunits, software tools.*

Рецензент: Щербакова Г.Ю., д-р техн. наук, проф., Інститут компютерних технологій, м. Одеса