



Борисюк Д. В.

*Вінницький
національний аграрний
університет*

Печенюк О. В.

*Чернятинський коледж
Вінницького
національного
аграрного
університету*

Borysyuk D. V.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

Pechenyuk O. V

*Chernyatyn College of
Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 534.2: 621.37/39 (075)

ВІБРОДІАГНОСТИКА ПОРШНЕВИХ МАШИН

У статті пропонується розглянути особливості вібродіагностики поршневих машин. Описана послідовність і вибір місць встановлення вібродатчиків, наведена схема розташування датчиків. Представлена послідовність руху закриваючих органів клапанів поршневої машини. Дана діаграма роботи поршневого компресора з одного порожниною нагнітання. Коротко описані несправності поршневої машини та їх наслідки.

За допомогою обладнання для віброакустической діагностики побудовано та проаналізовано вібросигнал з датчиків на циліндрі при гідродару, огинає вібросигнал з датчиків на циліндрі при гідродару, вібросигнали з справних і несправних клапанів, спектр обвідної вібросигналу справного клапана, спектр обвідної вібросигналу несправного клапана, спектр обвідної вібросигналу справного клапана після ремонту, спектр обвідної вібросигналу руйнується клапана, огинає вібросигнал несправного клапана, вібросигнал при ослабленні гайки кріплення поршня, тимчасова реалізація вібропереміщення при зносі сальників штока поршневої машини.

Ключові слова: *вібрація, удар, шум, дефект, вібродатчик, вібросигнал, віброакустична діагностика, поршнева машина.*

Вступ. Основними завданнями діагностування стану машинного обладнання є [1, 2]:

- визначення технічного стану, в якому знаходиться обладнання в минулому, теперішньому і майбутньому;
- пошук місця і визначення причин несправності;
- контроль технічного стану, тобто визначення виду технічного стану.

Видами технічного стану є справний і несправний, працездатний і непрацездатний і т.д. Вирішення цих завдань необхідне для організації технічного обслуговування обладнання по фактичному технічному стану замість обслуговування по ресурсу та реалізації безпечної ресурсозберігаючої експлуатації обладнання всіх галузей народного господарства [1, 2, 3].

Мета дослідження. За допомогою обладнання для віброакустичної діагностики визначити технічний стан клапанного механізму поршневих машин.

Вибір місць установки датчиків. Складність вібродіагностики поршневих машин полягає в циклічності роботи її рухомих частин, тому що в основному діагностика двигунів, відцентрових агрегатів проводиться за допомогою спектральних оцінок вібросигналу

[4]. У поршневих машинах вібросигнал являє собою майже періодичний процес і ступінь зносу агрегату відбивається на зміні рівня вібросигналу від певних значень кута повороту колінчастого валу. Однак розпізнати зносу якої деталі відповідає зміна вібросигналу досить складно, так як зазори в різних деталях можуть викликати зміну величини вібросигналу при одних і тих же значеннях по куту повороту вала. Рішенням даної проблеми може бути, по-перше, раціональний вибір кількості точок розташування вібрдатчиків, по-друге, "вдале" місце розташування датчиків на агрегаті, по-третє, "надійний" алгоритм обробки сигналів. Критерієм вирішення цих проблем може бути тільки практичний досвід з аналізу несправностей поршневих компресорів (ПК) в момент їх капітального ремонту і зіставлення несправностей з накопиченими даними [5].

Для отримання вібросигналів на ПК фірми «Worthington-TurboDyne» було встановлено вібрдатчики на кожному циліндрі в наступних точках (рис. 1) [6, 7, 8]:

- на кришці циліндрів в осьовому напрямку;
- на регулюючому клапані ближньої до кришки порожнини (порожнини ВМТ) нагнітання циліндрів 1-ої ступені в радіальному напрямку по відношенню до осі циліндра (штока);



- на регулюючому клапані ближньої до колінчастого валу порожнини (порожнини НМТ) нагнітання циліндрів 1-ої ступені в радіальному напрямку по відношенню до осі циліндра (штока);

- над штоком поршня у вертикальному напрямку;

- над повзуном у вертикальному напрямку;

- поруч з повзуном в осьовому напрямку (вздовж штока).

Тимчасові реалізації вібросигналів зчитувалися з працюючих компресорів. Аналіз вібросигналів проводився виходячи з логіки роботи ПК згідно діаграми руху закриття органів клапанів (рис. 2).

Для впускного клапана відрізки 1-2 і 5-9 відповідають часу перебування закриваючого органу на сідлі, 2-3 - часу відкриття клапана. Відрізок 3-4 відповідає часу перебування закриваючого органу біля обмежувача підйому і 4-5 - часу закриття клапана. Відрізок 1-9 відповідає часу одного обороту вала компресора.

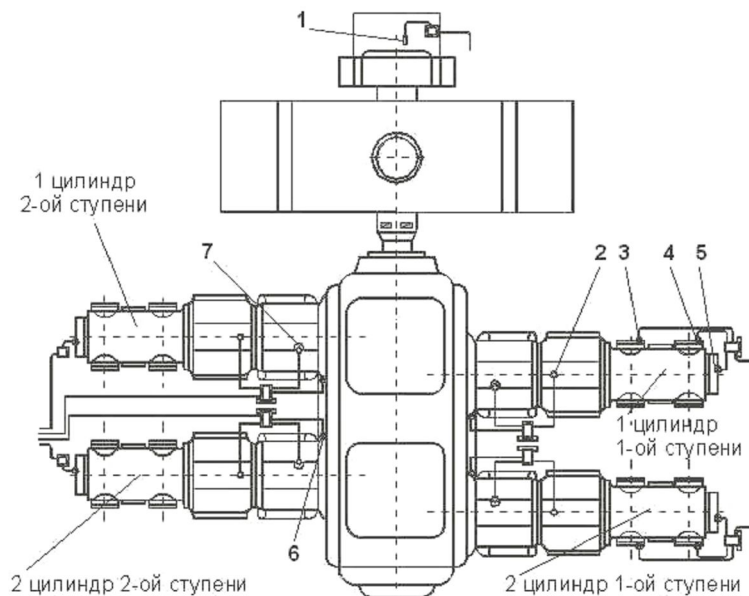
Для нагнітального клапана відрізок 1-6 відповідає часу перебування закриваючого

органу на сідлі, 6-7 - часу відкриття клапана, відрізки 7-8 - часу перебування закриваючого органу біля обмежувача підйому і 8-9 - часу закриття клапана.

Криві 2-3 (у впускного клапана) і 6-7 (біля нагнітального клапана) характеризують переміщення закриваючих органів від сідла до обмежувача. Відповідно криві 4-5 і 8-9 - переміщення закриваючих органів від обмежувача до сідла.

Площі діаграм руху 2-3-4-5 для впускних і 6-7-8-9 для нагнітальних клапанів можна розглядати як діаграми час-перетин, що визначають середню швидкість газу в щіліні клапана за період його дії.

При правильній роботі клапанів їх закриття повинно закінчуватися до моменту приходу поршня до відповідної мертвої точки. Прийнято вважати першою (верхньою) мертвою точкою називати точку, яка відповідає моменту крайнього положення поршня, коли закінчується процес нагнітання, а другою (нижньою) мертвою точкою - момент іншого крайнього положення поршня, коли закінчується процес всмоктування.



- 1 - Датчик угла поворота
- 2 - Вертикальное направление штока
- 3 - Регулирующий клапан НМТ
- 4 - Регулирующий клапан ВМТ
- 5 - Поршень, осевое направление
- 6 - Осевое направление крейцкопфа
- 7 - Вертикальное направление крейцкопфа

Рис. 1. Схема розташування датчиків на ПК фірми «WORCHINGTON-TurboDyne» (робоче вікно програмного забезпечення)

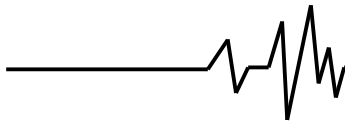


Рис. 2. Діаграма руху закриваючих органів клапана (робоче вікно програмного забезпечення)

Якщо закриття впускного клапана відбувається в період, коли в циліндрі компресора вже має початися процес стиснення, тобто точка 5 (рис. 2) виявиться значно правіше другої мертвої точки, то це означає, що клапан закривається з запізненням.

Якщо закриття нагнітального клапана закінчується в період, коли в циліндрі компресора вже повинен початися процес розширення, тобто коли точка 9 (рис. 2) виявиться значно правіше першої мертвої точки, то це означає, що нагнітальний клапан закривається з запізненням. І в тому і в іншому випадку нормальний процес роботи компресора буде порушений.

Запізнення закриття клапанів при даному режимі роботи компресора має місце тоді, коли зусилля клапанних пружин дуже малі, а маси рухомих органів і величини підйомів закриваючих органів великі. При великій висоті підйому усувати запізнювання закриття клапана надмірним збільшенням зусилля пружини

недоцільно, тому що при цьому клапан повністю не відкривається. Закриваючий орган протягом усього часу, коли клапан повинен бути відкритий, знаходиться в підвищеному несталому стані, здійснюючи коливальні рухи між сідлом і обмежувачем, як це показано пунктиром на рис. 2.

У такому випадку на діаграмі руху площа, обмежена штриховою лінією і віссю абсцис, сильно скорочується і зменшується фактор часу та збільшується середня швидкість газу в клапанах, що призводить до збільшення опору клапана і зниження к.к.д. компресора.

Послідовність роботи клапанів (рахуючи від ВМТ) ПК по куту повороту колінчастого вала, яка визначає вид сигналу з вібродатчика, наведена в табл. 1 [1].

Як приклад аналізу динаміки поршневого компресора на рис. 3 наведена діаграма динамічної активності кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і циліндро-поршневої групи поршневого компресора з однією порожниною нагнітання.

Таблиця 1

Послідовність руху закриваючих органів клапанів

Кут повороту після ВМТ	Дія
70-90°	відкриття впускного клапана в ближній до кришки порожнини нагнітання (в порожнині ВМТ)
80-100°	відкриття нагнітального клапана в ближній до колінчастого вала порожнини нагнітання (в порожнині НМТ)
170-180°	закриття нагнітального клапана в порожнині НМТ
170-190°	закриття впускного клапана порожнини ВМТ
після НМТ	
70-90°	відкриття впускного клапана в порожнині НМТ
70-90°	відкриття нагнітального клапана в порожнині ВМТ
170-180°	закриття нагнітального клапана ВМТ
170-190°	закриття впускного клапана порожнини ВМТ

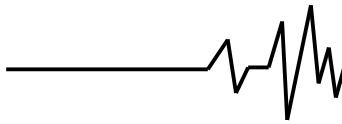


Рис. 3. Діаграма роботи поршневого компресора з однією порожниною нагнітання (робоче вікно програмного забезпечення)

Вибросигнал на нормальному функціонуючому ПК має складний характер і структуру (рис. 4). У даному випадку з тимчасової реалізації все ж можливо визначити роботу механізмів, зокрема, клапанів. Спектр

такого сигналу (рис. 5), як правило, має кілька резонансних зон. Проте виділення обвідної в певному діапазоні частот дозволяє істотно спростити структуру сигналу і на ньому можна досить чітко виділити циклограму роботи ПК.

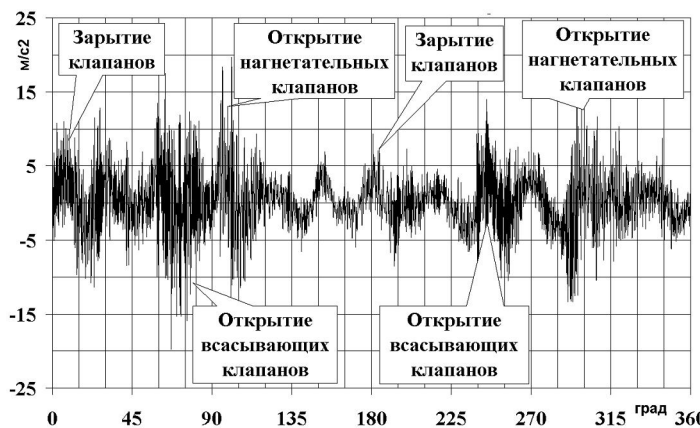


Рис. 4. Нормальний вібросигнал (робоче вікно програмного забезпечення)

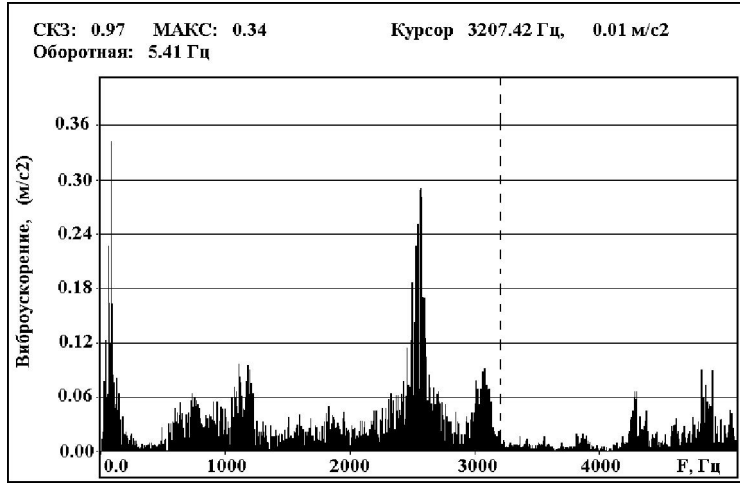


Рис. 5. Амплітудно-частотний спектр поршневого компресора (робоче вікно програмного забезпечення)



Несправності клапанів. Основною проблемою при експлуатації поршневих компресорів є виявлення на ранній стадії процесу руйнування пластинчастих клапанів. Для аналізу вібрацій клапанів акселерометри були встановлені на шпильках кріплення клапанів. Аналіз вібропараметрів в тимчасовій області (рис. 6) дозволив виявити несправність клапанів на ранній стадії в момент поломки перших пружин. При цьому, зміна характеристик вібропараметрів була зафіксована за п'ять днів до виявлення несправності клапана звичайними методами - по температурі. Розбирання клапана підтвердило поломку пружин і пластин клапана. Після таких поломок клапан відновленню не підлягав.

Для автоматичної діагностики клапанів розроблений алгоритм, який дає можливість однозначно виявляти дефекти клапанів.

На спектрі обробленого вібросигналу з несправного клапана (рис. 7) видно, що рівень першої гармоніки більш ніж у два рази перевищує рівень других і більш високих гармонійних складових. Розбирання клапана підтвердило поломку однієї з пружини. Цей же клапан без заміни пружин експлуатувався до моменту визначення його несправності звичайним способом. За цей час рівень першої гармоніки збільшився, а рівень другої зменшився ще в два рази (рис. 8). Таким чином, відношення рівнів першої та другої гармонік досягло чотирьох. Розбирання клапана виявила руйнування практично всіх пружин і поломку пластин. Після ремонту рівень другої гармоніки (рис. 9) став перевищувати першу в 5 разів (рис. 10).



Рис. 6. Вібросигнали з справних і несправних клапанів клапанов (робоче вікно програмного забезпечення)



Рис. 7. Спектр огинаючої вібросигналу несправного клапана (робоче вікно програмного забезпечення)

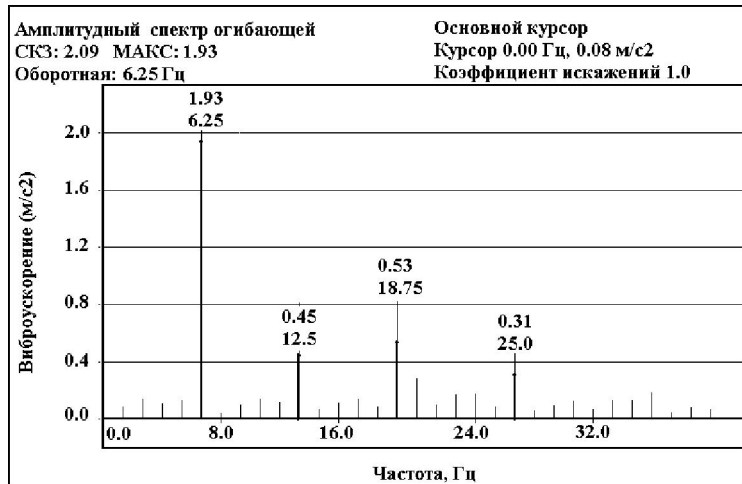
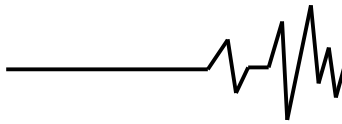


Рис. 8. Спектр огибающей вибросигнала неисправного клапана (рабочее окно программного обеспечения)

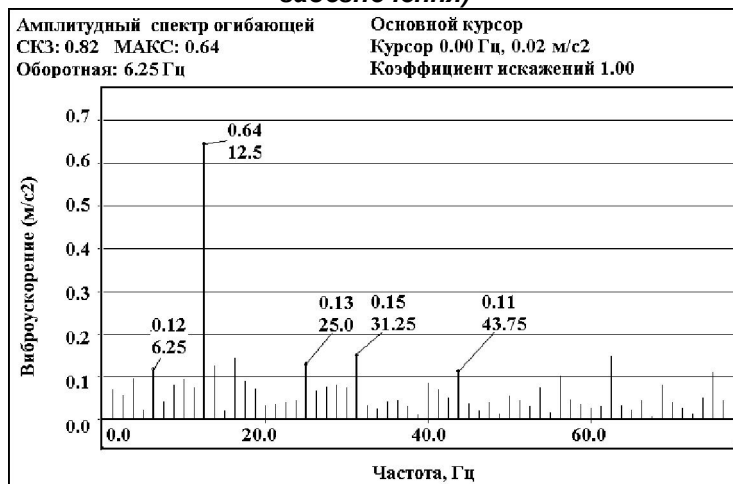


Рис. 9. Спектр огибающей вибросигнала исправного клапана після ремонту (рабочее окно программного обеспечения)

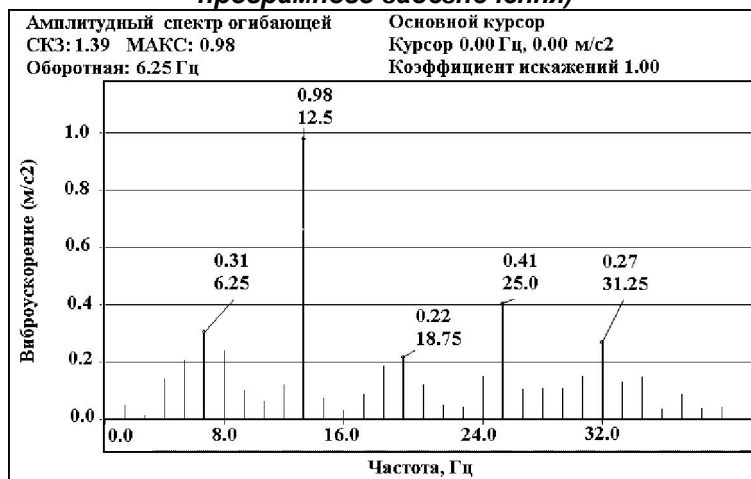
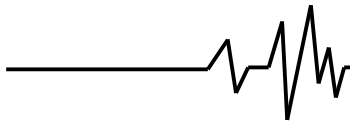


Рис. 10. Спектр огибающей вибросигнала исправного клапана (рабочее окно программного обеспечения)

З метою зменшення складності ремонту важливо на ранній стадії визначити виникнення несправності клапана. На спектрі вибросигналу (рис. 11) видно, що рівні першої та другої гармонік сумірні. Розбирання клапана

підтвердило поломку всього однієї пружини. Після ремонту співвідношення рівнів гармонік відновилося, тобто рівень другої гармоніки став перевищувати рівень першої більш ніж в 5 разів.



Аналогічні дані зафіксовані і на інших поршневих компресорах. За зовнішнім виглядом огинаючої тимчасової реалізації (рис. 12), складно визначити стан машини. Однак, спектр огинаючої в діапазоні 400-1500 Гц

(рис. 13) свідчить про несправність клапана. Після ремонту та випробування клапанів спектр огинаючої сигналу (рис. 14) прийняв нормальний вигляд.

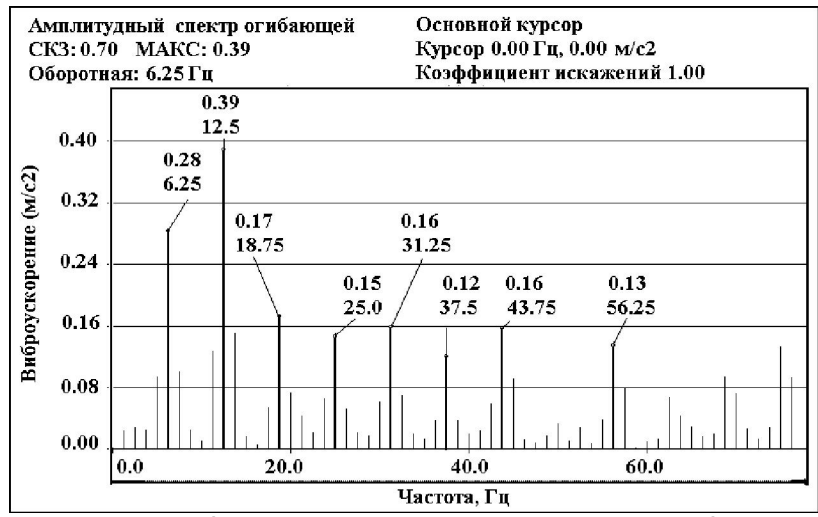


Рис. 11. Спектр огинаючої вібросигналу несправного клапана (робоче вікно програмного забезпечення)

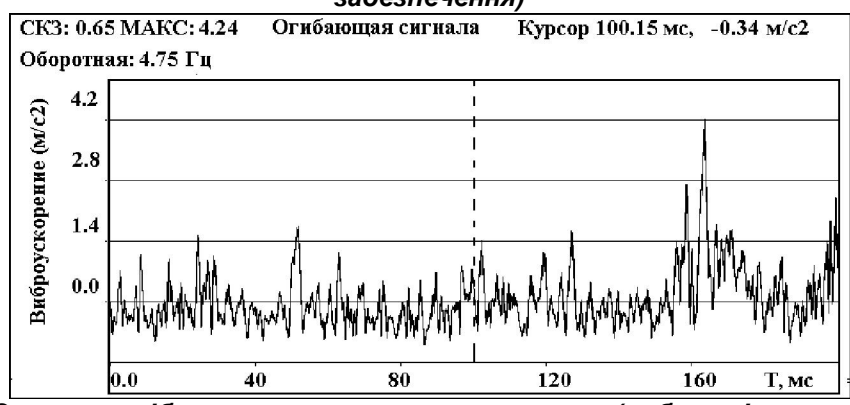


Рис. 12. Огинаюча вібросигналу несправного клапана (робоче вікно програмного забезпечення)



Рис. 13. Спектр огинаючої вібросигналу несправного клапана (робоче вікно програмного забезпечення)

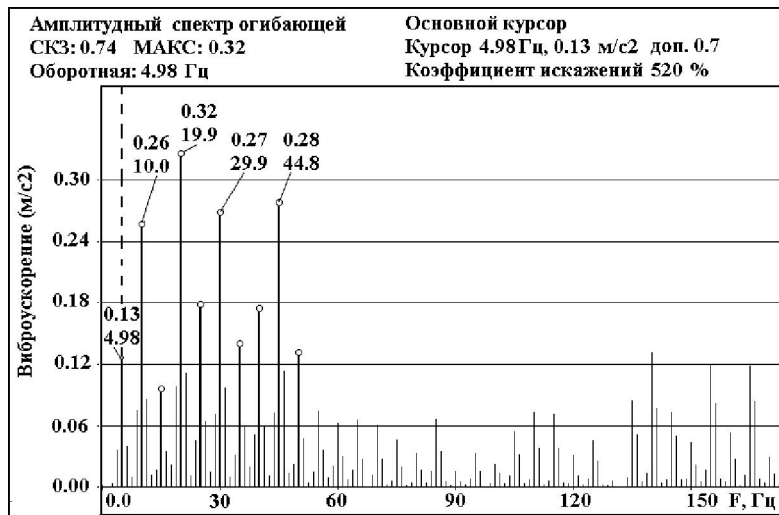
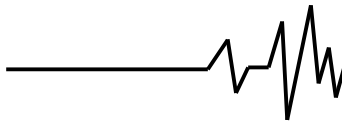


Рис. 14. Спектр огибающей вибросигнала исправного клапана (рабочее окно программного обеспечения)

Аналіз показує, що, якщо це відношення становить 2-3 і більше, то клапан справний. В іншому випадку - клапан несправний. Такий алгоритм визначення технічного стану пластинчастих клапанів дозволив значно підвищити достовірність постановки діагнозу.

Цей алгоритм є окремим випадком більш загального алгоритму діагностики машин методом селекції шумових і періодичних складових (ШПС) вібрації в тимчасовій і частотній області, запропонований Костюковим В.М. ще в 80-х роках минулого століття [6].

Висновки

1. Складність вібродіагностики поршневих машин полягає в циклічності роботи їх рухомих частин, тому що в основному діагностика двигунів, відцентрових агрегатів проводиться за допомогою спектральних оцінок вібросигналу.

2. Ефективність впровадження систем для діагностики технічного стану клапанів поршневих компресорів визначається вартістю витрат на впровадження системи до економії, отриманої від продовження терміну служби клапанів, скорочення тривалості ремонту і простою агрегатів, виключення порушень технологічного процесу і погіршення якості продукції. Впровадження систем окупається протягом декількох місяців експлуатації. При цьому значно підвищується безпека експлуатації обладнання вибухопожежонебезпечних виробництв.

Список використаних джерел

1. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: Учеб.

пособие / Под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 108 с.

2. Артоболевский И.И., Бобровницкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин. – М.: Наука, 1979. – 296 с.

3. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

4. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.

5. Явленский А.К., Явленский К.Н. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. – Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.

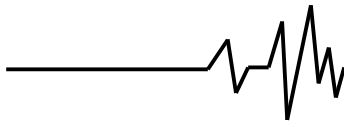
6. Пат. 1280961 РФ, МКИ F04B51/00, G01M13/02. Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления / В.Н. Костюков // Открытия. Изобретения. – 1986. – № 48.

7. Пат. 2103668 РФ, МКИ G01M15/00. Способ диагностики и прогнозирования технического состояния машин по вибрации корпуса / В.Н. Костюков, С.Н. Бойченко, А.В. Костюков // Изобретения. – 1998. – № 3.

8. Пат. 2149374 РФ, МКИ G01M13/04. Способ установки вибропреобразователя / В.Н. Костюков // Изобретения. Полезные модели. – 2000. – № 14. – 3 с.

Список джерел в транслітерації

1. Kostyukov V.N., Naumenko A.P. Prakticheskiye osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki mashinnogo oborudovaniya: Ucheb. posobiye / Pod red. V.N. Kostyukova. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2002. – 108 s.



2. Artobolevskiy I.I., Bobrovnitskiy YU.I., Genkin M.D. Vvedeniye v akusticheskuyu dinamiku mashin. – M. : Nauka, 1979. – 296 s.

3. Genkin M.D., Sokolova A.G. Vibroakusticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov. – M. : Mashinostroyeniye, 1987. – 288 s.

4. Pavlov B.V. Akusticheskaya diagnostika mekhanizmov. – M. : Mashinostroyeniye, 1971. – 224 s.

5. Yavlenskiy A.K., Yavlenskiy K.N. Vibrodiagnostika i prognozirovaniye kachestva mekhanicheskikh sistem. – L. : Mashinostroyeniye, 1983. – 239 s.

6. Pat. 1280961 RF, MKI F04B51/00, G01M13/02. Sposob vibroakusticheskoy diagnostiki mashin periodicheskogo deystviya i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya / V.N. Kostyukov // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1986. – № 48.

7. Pat. 2103668 RF, MKI G01M15/00. Sposob diagnostiki i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya mashin po vibratsii korpusa / V.N. Kostyukov, S.N. Boychenko, A.V. Kostyukov // Izobreteniya. – 1998. – № 3.

8. Pat. 2149374 RF, MKI G01M13/04. Sposob ustanovki vibropreobrazovatelya / V.N. Kostyukov // Izobreteniya. Poleznyye modeli. – 2000. – № 14. – 3 c.

ВИБРОДИАГНОСТИКА КЛАПАННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

Аннотация. В статье предлагается рассмотреть особенности вибродиагностики поршневых машин. Кратко описана последовательность и выбор мест установки вибродатчиков, приведена схема расположения датчиков. Представлена последовательность движения закрывающих органов клапанов поршневой машины. Дана диаграмма работы поршневого. Кратко

описаны неисправности поршневой машины и их последствия.

С помощью оборудования для виброакустической диагностики построено и проанализировано вибросигнал с датчиков на цилиндре, вибросигнал с исправных и неисправных клапанов, спектр огибающей вибрации исправного клапана, спектр огибающей вибрации неисправного клапана, спектр огибающей вибрации исправного клапана после ремонта, спектр огибающей вибрации неисправного клапана, огибающая вибрации неисправного клапана.

Ключевые слова: вибрация, удар, шум, дефект, вибродатчик, вибросигнал, виброакустическая диагностика, поршневая машина.

VIBRODIAGNOSTICS OF VALVE GEAR OF PISTON MACHINES

Annotation. This article is proposed to consider the characteristics of vibration diagnostics of reciprocating engines. Briefly describes the sequence and choice of installation of vibration sensors, a diagram of the sensors. Shows the sequence of movement of the valve closing piston machine. Given a diagram of a reciprocating compressor with a pressure chamber. Briefly described piston machine malfunction and their consequences.

With equipment for vibroacoustic diagnostics constructed and analyzed vibrate with sensors on the cylinder vibrates with serviceable and unserviceable valve vibration envelope spectrum serviceable valve vibration envelope spectrum faulty valve vibration envelope spectrum serviceable valve after repair, the envelope spectrum vibration faulty valve vibration envelope faulty valve.

Key words: vibration, shock, noise, defect, vibrosensor, vibrosignal, vibro-acoustic diagnostics, piston machine.