

## ОРГАНІЗАЦІЯ ВІБРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ НА КУЩОВИХ НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ СИСТЕМ ПІДТРИМАННЯ ПЛАСТОВОГО ТИСКУ

Ю.В. Паньків

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727170,  
e-mail: ktsu@nuing.edu.ua

*Розкрито необхідність запровадження вібраційного контролю відцентрових насосних агрегатів на кущових насосних станціях систем підтримання пластового тиску. В ході проведеної роботи обґрунтовано вибір вібродавачів для системи контролю вібрації. За допомогою вдосконаленого методу обчислення та аналізу кореляційної матриці було проведено аналіз контрольних точок відцентрового насосного агрегату з метою пошуку найбільш інформативних та визначено їх розташування на корпусі насосних агрегатів типу ЦНС-180-1900, що дало змогу зменшити кількість інформації для подальшої обробки даних і у такий спосіб прискорити процес контролю.*

Ключові слова: технічний стан, технічна діагностика, відцентровий насосний агрегат, підтримання пластового тиску, відмови, дефекти.

*Раскрыта необходимость введения вибрационного контроля центробежных насосных агрегатов на кущовых насосных станциях систем поддержания пластового давления. В ходе проведенной работы обоснован выбор вибродатчиков для системы контроля вибрации. С помощью усовершенствованного метода расчета и анализа корреляционной матрицы проведен анализ точек центробежного насосного агрегата с целью поиска наиболее информативных и определено их расположение на корпусе насосных агрегатов типа ЦНС-180-1900, что позволило уменьшить количество информации для дальнейшей обработки данных и таким образом ускорить процесс контроля.*

Ключевые слова: техническое состояние, техническая диагностика, центробежный насосный агрегат, поддержание пластового давления, отказы, дефекты.

*The article reveals the need of introduction of the centrifugal pumping unit vibration control in the cluster pumping stations of the formation pressure maintenance system. The choice of the vibration detectors for vibration control system was grounded while conducting this study. The analysis of the centrifugal pumping unit test points was conducted with the help of improved calculation method and correlation matrix analysis in order to find the most informative test points. Their locations were identified on the body of such pumping units as CNS-180-1900. It allowed reducing the amount of data for further processing and thus accelerating the control process.*

Keywords: technical state, technical diagnostics, centrifugal pumping unit, formation pressure maintenance, re-fuses, defects.

### Вступ, актуальність проблеми

Проблема збільшення власного видобутку нафти є важливим народногосподарським завданням для України. Одним із шляхів його вирішення є підвищення надійності і ефективності використання обладнання нафтопромислів та скорочення витрат на його експлуатацію, що неможливо без застосування сучасних методів та засобів діагностування обладнання. На даний час більшість нафти на родовищах України видобувається за допомогою застосування методів інтенсифікації, зокрема використовується метод підтримання пластового тиску (ППТ) шляхом закачування у пласт рідини потужними відцентровими насосними агрегатами (ВНА). З метою покращення екологічної ситуації для заводнення використовується також і підтоварна вода, яка володіє кращими відмиваючими властивостями, однак її використання призводить до прискореного зношування та руйнування робочих коліс та направляючих апаратів ВНА. Тому актуальним є забезпечення оперативного контролю за поточним технічним станом ВНА з використанням віброакустичних методів неруйнівного контролю для забезпечення можливості переходу від системи плано-

во-попереджувальних ремонтів до системи ремонтів за фактичною потребою, що дозволить значно скоротити витрати на ремонт ВНА та більш повно використовувати закладений у них ресурс.

**Метою роботи** є запровадження вібраційного контролю відцентрових насосних агрегатів типу ЦНС-180-1900 на кущових насосних станціях системи підтримання пластового тиску для оперативного виявлення відмов та дефектів їх вузлів на ранніх ступенях їх розвитку.

На даний час у зв'язку з відсутністю штатних засобів для контролю вібрації у існуючій системі місцевої автоматики БМА-19 [1] (рис. 1) контроль вібрації ВНА не проводиться на більшості кущових насосних станцій (КНС).

Оскільки штатні давачі контролю вібрації відсутні на корпусі ВНА, то потрібно було додатково вирішити задачу їх вибору з ряду серійних вібродавачів, що випускаються промисловістю. Для вимірювання параметрів вібрації можуть використовуватись різні типи давачів [2,3]. Останнім часом найбільшого поширення набули п'єзоелектричні давачі, які мають порі-

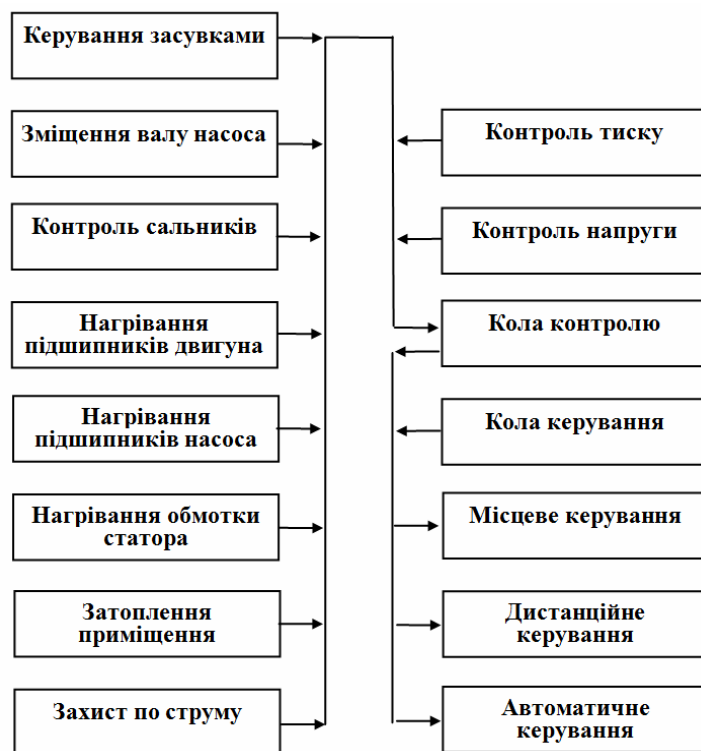


Рисунок 1 – Структурна схема уніфікованого блоку місцевої автоматики БМА-19

вняно з іншими високої точність вимірювання і чутливість, володіють високою стійкістю до ударів та перевантажень і в той же час мають малі габарити і масу. Сьогодні для вимірювання вібрації в переважній більшості промислових приладів використовується лише один різновид п'єзодавачів – п'єзоакселерометри. Широка популярність акселерометрів зумовлена простотою та надійністю їх конструкції, а також можливістю простого переходу від значення віброприскорення до віброшвидкості чи вібропереміщення шляхом апаратного або програмного інтегрування їх вихідного сигналу, що реалізовується значно простіше та точніше, ніж операція диференціювання. Тому основною вимогою при виборі давачі є його тип – і в даному випадку, як і для більшості промислових систем, доцільно використати давачі віброприскорення або віброшвидкості, зважаючи на вказані вище їх переваги.

Іншою важливою вимогою є те що, для забезпечення заданого частотного діапазону, а також малої похибки перетворення необхідно, щоб резонансна частота давача була як мінімум удвічі вищою за верхню межу корисного діапазону частот. Ця межа для даних ВНА з врахуванням їх конструктивних особливостей (конструкції робочих коліс та з'єднувальної муфти, вібраційні процеси в яких проявляються на високих частотах) повинна бути не меншою 7 кГц.

Всі решта вимог – типові: якомога менша похибка, нелінійність частотної характеристики, споживаний струм, якомога більша чутливість, робочий діапазон вимірювання віброшвидкості, температурний діапазон та інші.

При виборі давача для контролю вібрації ВНА було проведено попередній огляд та аналіз продукції провідних фірм-виробників світу, в результаті якого кількість можливих варіантів було зведено до шести, а саме: Metrix [4], Briel&Kjaer[5], "Октава+"[6], Мікронікс [7], ІТЦ "Вібродіагностика" [8], Технекон [9]. Основні параметри давачів було зведено у табл. 1 та 2.

Зокрема з продукції фірми Metrix [4] серед широкого спектру вібродавачів даного виробника можна використовувати давач типу SV6300 Проте, для цього давача конструктивно передбачений лише шпильковий монтаж, який буде досить проблематично реалізувати на практиці, тому від використання даного давача довелося відмовитись.

Можливість використання двокомпонентного давача VS-079 відомої фірми Briel&Kjaer є обмежена досить вузьким частотним діапазоном (до 2 кГц)[5].

Розглядалися також давачі, які пропонуються вітчизняним виробником ІТЦ "Вібродіагностика" (м. Луганськ)[8]. Ним пропонується цілий ряд акселерометрів з вбудованим попереднім підсилювачем АЄ-210, АЄ-321, АП-100С, АП-100В, АП-500. Серед переваг яких варто вказати на порівняно низьку напругу живлення, достатньо широкий частотний діапазон (до 9 кГц). Проте є у всіх них суттєвий недолік – робочий діапазон температур становить 0–70°C, що є недостатнім в польових умовах.

Давачі ВП-3 ВП-9 фірми "Технекон" (Росія) [9], що являють собою п'єзоелектричний акселерометри з вбудованою електронікою,

Таблиця 1 – Основні параметри та характеристики вибраних давачів вібрації

Тип давача	SV6300	VS-079	AP-21	ВП-9	ВП-3	Вд03	Вд03а	Вд06а
Виробник	Metrix (США)	Bruel&Kjaer (Данія)	“Октава+” (Росія)	Технекон (Росія)		Мікронікс (Росія, м.Омськ)		
Параметр	Значення							
Чутливість	4 мВ/мм/с (+5%)	75 мВ/мс -2±5%	2 пКл/г (осьова) <math>5 \cdot 10^{-3}</math> г·м/мкм (деформаційна)	8 мВ/мм·с <sup>-1</sup> 5 %	2,7 мВ/(м/с <sup>2</sup> ) 5%	2 мВ·с <sup>2</sup> /м (5%)	10 мВ·с <sup>2</sup> /м (5%)	10 мВ·с <sup>2</sup> /м ± 5%
Діапазон частот	2-12000 Гц (-3 дБ)	20-2000 Гц	0,5-20000 Гц (нерівн АЧХ ±1 дБ)	5-5000, ±1%	2-7000 Гц (1,5дБ)		5-8000 Гц нерівн АЧХ ± 4%	1-10000 Гц
Резонансна частота	18 кГц	-	-	-	-	25 кГц		25 кГц
Основна частота	-	15 Гц ± 2%	-	80 Гц	160 Гц	159 Гц		159 Гц
Макс. переміщення (швидкість, прискорення)	-	± 1 мм	-	150 мм/с	-	300 м/с <sup>2</sup>		500 м/с <sup>2</sup>
Температурний діапазон	-54... +121 °С	-	-60... +150°С	-40 ... +85°С	-60 +100	-		- 50 ... + 70°С
Матеріал корпусу	неірж. сталь	-	титановий сплав (неірж. сталь)	-	-	-		-
Монтажне кріплення	1/4-28"; М6 х 0,75	-	шпилька, магніт	-	-	шпилька М5		-
Чутливий елемент	кварц	-	-	-	-	-	-	-
Вага	91 г	330 г	8 г	200г	50 г	50 г		50 г
Ізоляція корпусу	100 МОм	-	> 100 МОм	-	-	-	-	-
Споживаний струм	2 ... 20 мА	-	-	10 мА	2 мА	8 мА		4...20 мА
Напруга живлення (пост.)	18 - 28 В	-	-	5,5 – 6,7 В	4,5 – 15 В	9...15 В ± 1%		-
Імпеданс	-	3 кОм	-	-	500 Ом	-	-	-
Електрична ємність	-	-	600...900 пФ	-	-	-	-	-
Повний розмах вихідного сигналу	+ 5В	-	-	2В (навант 100 кОм )	-	-	-	-

мають ширший температурний, проте менший частотний діапазон.

Широкий частотний діапазон мають давачі вібрації ВД03, ВД03а, та ВД06а які пропонує фірма Мікронікс (Росія, м.Омськ) [7]. Реальний діапазон частот давачів становить до 20 кГц, частота власного резонансу перевищує 25 кГц, що дає змогу проводити вібровимірювання практично для всіх можливих різновидів меха-

нізмів. За умови стаціонарного встановлення давачі кріпляться на шпильку М5. За потреби тимчасового кріплення, можливе встановлення давачів на віск і на магнітну п'яту. Магнітна п'ята постачається окремо. Давачі випускають у двох модифікаціях: з вбудованим підсилювачем (ВД03а, ВД06а) і без підсилювача (ВД03). Єдиним недоліком цих давачів є їх висока вартість.

Таблиця 2 – Основні параметри та характеристики акселерометрів ІТЦ "Вібродіагностика" (Україна)

Давач	АС-210	АС-321	АП-100С	АП-100В	АП-500
Параметр	Значення				
Діапазон вимірюваних значень віброприскорення, g	±10	±18	±30	±40	±8
Вбудований підсилювач	Так	Так	Так	Так	Так
Коефіцієнт поперечного перетворення, %	±2	±2	±4	±4	±4
Чутливість, мВ/g	100	100	100	100	500
Частота власного резонансу, КГц	10	5.5			
Робочий діапазон частот, Гц	0- 5000	0 - 2500	1 -5000	3 -9000	0.8-2500
Напруга живлення, В	Однополярна стабілізована 2.7 - 5.25 В		Двополярна ± 5 В		
Струм споживання, мА	1	0.75	1.5	1.5	3

Враховуючи особливості проведення досліджень ВНА (необхідність швидкого монтажу/демонтажу давача, вимірювання вібрації в декількох напрямках), широкий частотний діапазон частотного спектру вібросигналів, що генеруються в процесі роботи агрегату (високочастотна лопаточна вібрація, вібрація від явища кавітації), та високі рівні амплітуди вібрації, характерні практично для всіх агрегатів великої потужності, в якості вібродавача було використано акселерометр типу АР-21 фірми "Октава" [6], який найкраще відповідає цим вимогам. Давач має найширший частотний діапазон (до 20 кГц) та відносно малу нерівномірність частотної характеристики (±1 дБ), постачається разом з магнітним вузлом кріплення, що дозволяло встановлювати його в будь-якому місці на корпусі ВНА. Згідно з [10] при використанні такого способу кріплення ефективний робочий діапазон частот становитиме до 2.5 кГц. Щоб досягти більшого значення частотного діапазону потрібно застосовувати різьбове з'єднання.

### Обґрунтування стратегії розміщення вібродавачів на корпусі агрегату ЦНС-180-1900

Для будь-якого агрегату перед визначенням контрольних точок за відсутності штатної схеми встановлення давачів бажано зняти контурну характеристику для виявлення найбільш інформативних точок, тобто таких, в яких реєстрований сигнал має найбільшу амплітуду. Контрольні точки відмічають на кінематичній схемі контролю і чітко помічають на корпусі обстежуваної машини. Всі вимірювання слід проводити в одному і тому ж місці. Це пов'язано з тим, що якщо шлях розповсюдження механічних коливань від точки збудження (валу, підшипника і т.д.) до точки реєстрації не має однакового коефіцієнта загасання, то дефекти однакового характеру можуть створювати різні за формою і амплітудою сигнали на вимірювальному перетворювачі і, отже, можуть бути причиною різних їх інтерпретацій і висновків.

Контрольні точки їх слід вибирати на корпусі подалі від ребер жорсткості, а також локальних концентраторів напруг і деформацій, де відбувається сильне спотворення сигналів.

Згідно з [10] при діагностуванні ВНА вимірювання вібрації може проводитися в таких точках (рис.2).

Із визначених для контролю вібрації понад 100 точок, для подальшого аналізу було відібрано 43, а саме:

- на кришках підшипників насоса (Н1,Н2) і двигуна (Д1,Д2) (4 точки);
- на корпусах підшипників насоса (П1, П2) і двигуна верхні і нижні (Тв1, Тв2, Тн1 -Тн4) ( 8 точок);
- на корпусах ущільнень насоса (К1, К2, К1', К2'); на кришках нагнітання і всмоктування насоса (Кн і Кв) (6 точок);
- на лапах насоса (Л1 -Л4) (4 точки);
- на статорі (СТ1 -СТ4) (4 точки);
- на кріпильних болтах (Б1 -Б10) (10 точок);
- на фланцях насоса (Нф1, Нф2), всмоктуючого і напірного трубопроводів (Т1, Т2) і на трубопроводах (ТЗ, Т4) ( 6 точок).

Для поглибленого діагностичного обстеження ВНА та зняття контурної характеристики ВНА з метою виявлення шляхів розповсюдження вібрації і місць ослаблення кріплення його окремих елементів рекомендується використовувати наступні точки :

- на полицях рами: верхніх і нижніх (Пв1 - Пв10, Пн1 -Пн10);
- на станині насоса і електродвигуна, верхніх і нижніх (Св1 -Св12, Сн1 -Сн10);
- на рамі насосного агрегату (Р1 -Р10);
- на полицях рами, верхніх і нижніх (Пв1 - Пв10, Пн1 -Пн10);
- на основі блок-боксу, верхніх і нижніх (Ов1 -Ов10), (Он1 - Он10);
- на фундаменті блок-боксу (Ф1 -Ф10).

Згідно з [10] точки, розташовані на верхній кришці підшипників насоса електродвигуна (Н1, Н2, Д1, Д2), є найбільш інформативними для проведення періодичного контролю вібра-

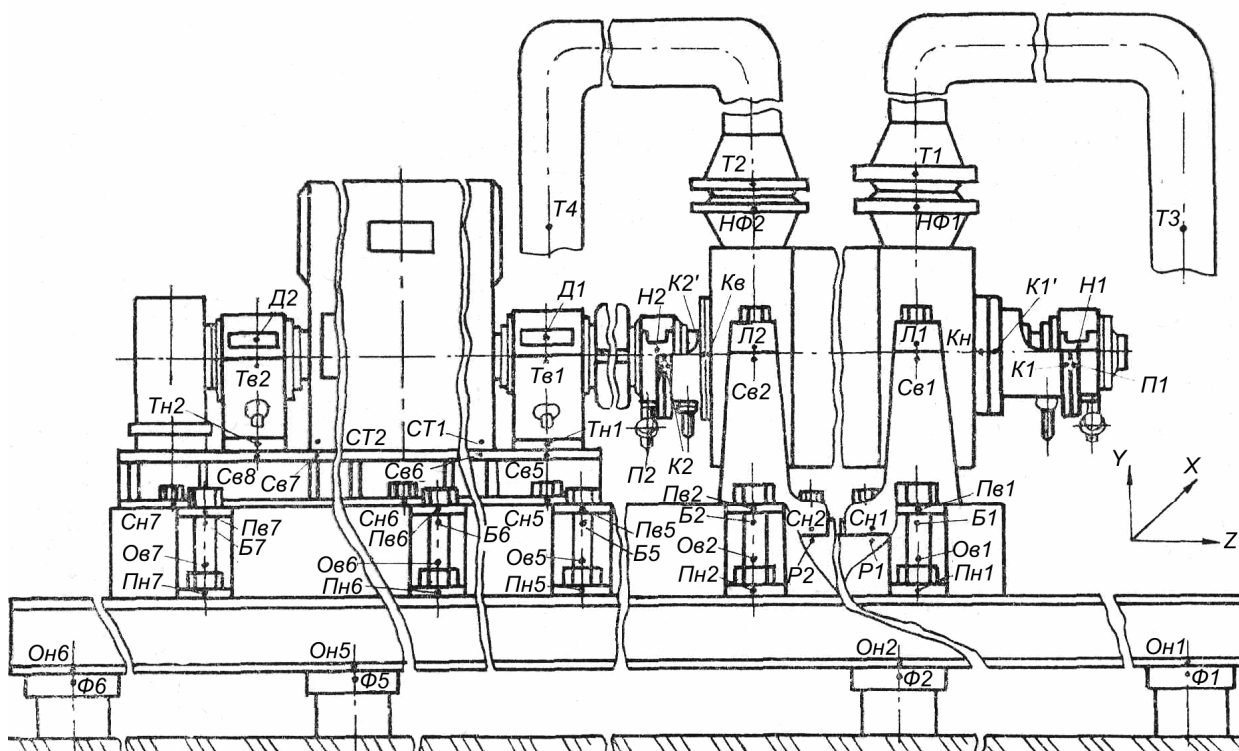


Рисунок 2 – Схема розміщення контрольних точок на корпусі ЦНС-180-1900

ції, а також для проведення спектрального аналізу вібрацій при поглиблених діагностичних обстеженнях.

Для перевірки інформативності вищевказаних точок було здійснено запис вібросигналів з усіх доступних для встановлення датчиків контрольних точок та проведено подальшу їх обробку за запропонованою методикою. Суть методики полягає в побудові двовимірної кореляційної матриці згідно з [11] у вигляді (1) та оцінюванні ступенів кореляції довільної точки з усіма іншими, задаючись певними пороговими значеннями коефіцієнтів кореляції  $R$ :

$$\begin{pmatrix} R_{1,1} & \dots & R_{1,j} & \dots & R_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j,1} & \dots & R_{j,j} & \dots & R_{j,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{j,n} & \dots & R_{n,j} & \dots & R_{n,n} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість вибірок,

$R_{j,i}$  – коефіцієнт кореляції між "j" та "i" точками

Проте класичний метод, описаний в [11], дає статистику лише для однієї фіксованої точки, у порівнянні з іншими, що є недостатнім для вирішення поставленого завдання. Тому з метою визначення оптимальної їх кількості, даний метод було вдосконалено: після побудови кореляційної матриці та визначення комірок з коефіцієнтами кореляції, що перевищують порогове значення, проводиться обчислення відсоткового співвідношення по кожному стовпчику матриці кількості комірок з коефіцієнта-

ми кореляції, що перевищують пороговий, до всієї кількості елементів у стовпчику. Якщо величина не перевищує 35 %, то вважаємо що дана точка є інформативною, інакше її відкидаємо.

Далі класичним способом було побудовано кореляційну матрицю та здійснено порівняння коефіцієнтів кореляції по кожній комірці з встановленим порогом кореляції. Останній приймаємо рівним 0.7, вважаючи, що при такому коефіцієнті кореляції інформативність двох корельованих точок приблизно однакова.

Для автоматизації процесу відбору та аналізу інформативних точок було розроблено програмне забезпечення, графічний алгоритм якого наведений на рис. 3, а зовнішній вигляд графічного інтерфейсу програми – на рис. 4, яке дає змогу, при вказанні каталогу з файлами, проводити автоматичний пошук файлів віброзаписів, будувати кореляційну матрицю і за заданим пороговим рівнем між двома окремими точками та відсотковим співвідношенням точок, рівень кореляції для яких перевищує пороговий, до всіх точок по стовпчику, визначати ті точки, які є найбільш інформативними. На ці точки слід в першу чергу встановлювати в першу чергу датчі.

За результатами побудови кореляційної матриці (рис. 5) було повністю підтверджено інформативність точок Н1 (1), Н2 (2), Д1 (4), Д2 (5). Нижче наведено обчислене відсоткове співвідношення між контрольними точками (жирним шрифтом виділено найбільш інформативні точки, які якнайменше корелюють з усіма іншими точками):

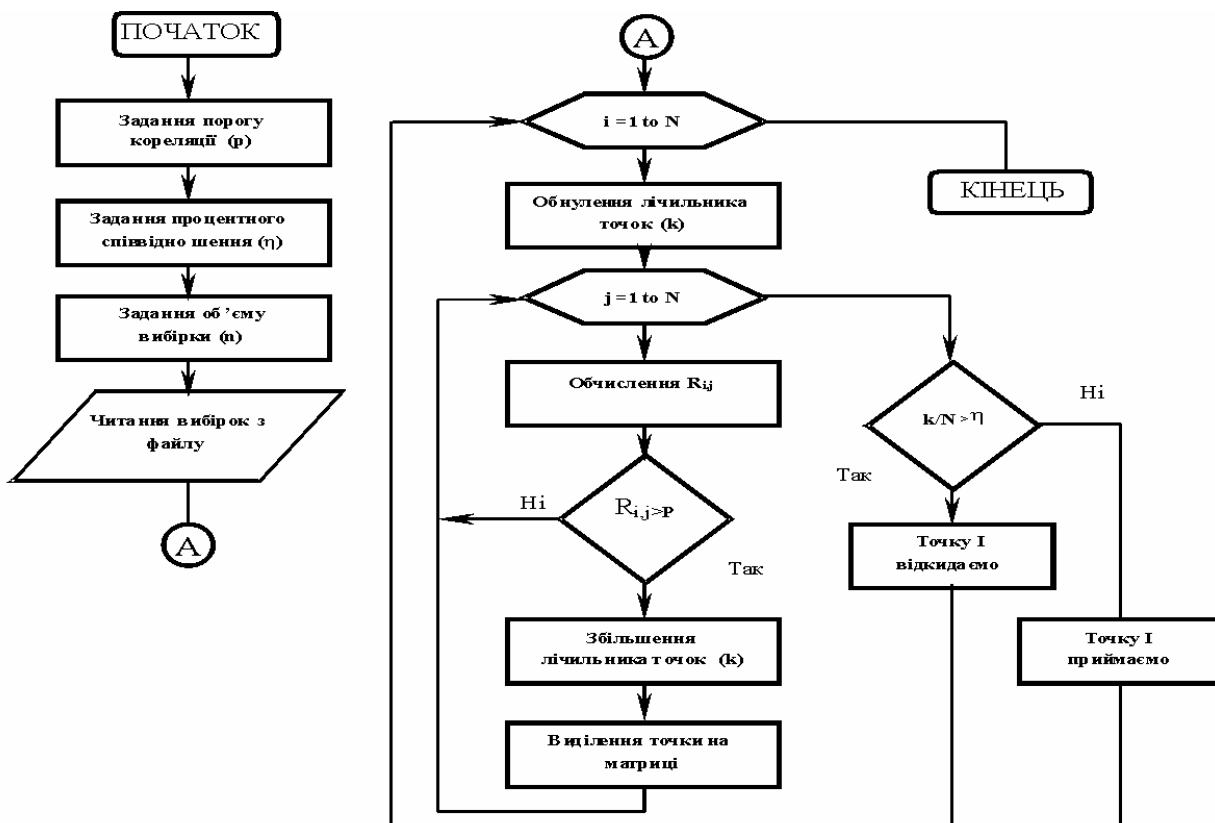


Рисунок 3 – Графічний алгоритм програми відбору та аналізу інформативних точок

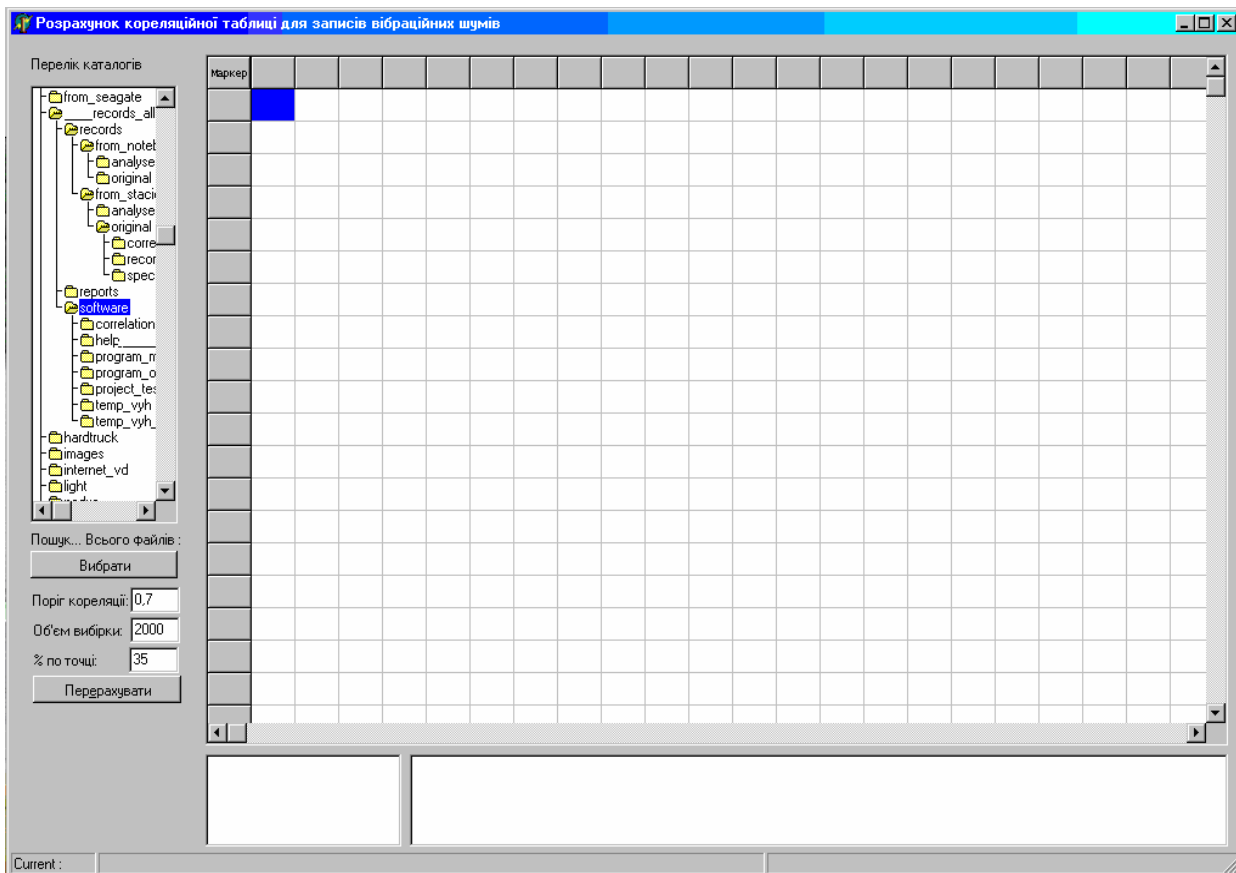


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд головної форми програми відбору та аналізу інформативних точок

- Для точки Б1 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )  
 Для точки Б10 корелюють між собою 18 із 43 точок ( 43 % )  
 Для точки Б2 корелюють між собою 25 із 43 точок ( 60 % )  
 Для точки Б3 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
 Для точки Б4 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )  
 Для точки Б5 корелюють між собою 21 із 43 точок ( 50 % )  
 Для точки Б6 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )—ля точки Б7 корелюють між собою 16 із 43 точок ( 38 % )  
 Для точки Б8 корелюють між собою 24 із 43 точок ( 57 % )  
 Для точки Б9 корелюють між собою 16 із 43 точок ( 38 % )  
**Для точки Д1 корелюють між собою 12 із 43 точок ( 29 % )**  
**Для точки Д2 корелюють між собою 14 із 43 точок ( 33 % )**  
 Для точки К1 корелюють між собою 21 із 43 точок ( 50 % )  
 Для точки К1' корелюють між собою 16 із 43 точок ( 38 % )  
 Для точки К2 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
**Для точки К2' корелюють між собою 14 із 43 точок ( 33 % )**  
 Для точки Кв корелюють між собою 20 із 43 точок ( 48 % )  
**Для точки Кн корелюють між собою 10 із 43 точок ( 24 % )**  
 Для точки Л1 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
 Для точки Л2 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )  
 Для точки Л3 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
 Для точки Л4 корелюють між собою 24 із 43 точок ( 57 % )  
**Для точки М корелюють між собою 12 із 43 точок ( 29 % )**  
**Для точки Н1 корелюють між собою 11 із 43 точок ( 26 % )**  
**Для точки Н2 корелюють між собою 12 із 43 точок ( 29 % )**  
**Для точки Нф1 корелюють між собою 14 із 43 точок ( 33 % )**  
 Для точки Нф2 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
 Для точки П1 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )  
**Для точки П2 корелюють між собою 14 із 43 точок ( 33 % )**  
 Для точки СТ1 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )  
 Для точки СТ2 корелюють між собою 23 із 43 точок ( 55 % )  
 Для точки СТ3 корелюють між собою 18 із 43 точок ( 43 % )  
 Для точки СТ4 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
**Для точки Т1 корелюють між собою 14 із 43 точок ( 33 % )**  
 Для точки Т2 корелюють між собою 16 із 43 точок ( 38 % )  
 Для точки Т3 корелюють між собою 21 із 43 точок ( 50 % )  
 Для точки Т4 корелюють між собою 15 із 43 точок ( 36 % )  
 Для точки Тв1 корелюють між собою 18 із 43 точок ( 43 % )  
 Для точки Тв2 корелюють між собою 16 із 43 точок ( 38 % )  
 Для точки Тн1 корелюють між собою 17 із 43 точок ( 40 % )  
**Для точки Тн2 корелюють між собою 13 із 43 точок ( 31 % )**  
 Для точки Тн3 корелюють між собою 16 із 43 точок ( 38 % )  
 Для точки Тн4 корелюють між собою 21 із 43 точок ( 50 % )

Після подальшого аналізу вібросигналів з найбільш інформативних точок було відібрано п'ять. Додатково було визначено ще одну інформативну контрольну точку (3) на корпусі зубчатої з'єднувальної муфти. Схематичне розміщення цих точок на корпусі ВНА відображено на рис.6.

Отже, згідно з рис. 6, при контролі стану насоса вібродавачі потрібно встановлювати в місцях розташування підшипникових опор відцентрового насоса (1,2) привідного електродвигуна (4,5) і муфти зчеплення (3).

Для вібраційного контролю у даному випадку використовувався власний розроблений багатоканальний вимірювач [12], проте також можна використовувати будь-який з серійних приладів типу "Атлант" [13].

Рекомендована така послідовність організації вібраційного контролю ВНА :

1. Вимикають живлення ВНА.

2. Під'єднують вимірювальну апаратуру в шафі керування.

3. Проводять монтаж вібродавачів на контрольні точки. В безпосередній близькості від корпусу ВНА встановлюють багатоканальний комутатор для мінімізації впливу завад та наводок.

4. Запускають ВНА, і після виходу його на стаціонарний режим перевіряють незмінність його основних робочих параметрів (подача, напір) від моменту останньої реєстрації.

5. У випадку дотримання робочих умов вмикають технічні засоби, витримують паузу 10-15 хв для забезпечення їх достатнього прогрівання.

6. Проводять реєстрацію вібраційних сигналів. Для усунення впливу на результат запису перехідних процесів у комутаторі та виходячи з необхідності забезпечити достатній обсяг вибірки для подальшого аналізу з роздільною здатністю за частотою не менше 0.5 Гц (об'єм вибірки  $N=2^{17}$  точок за частоти дискретизації 44.1 кГц ) час спостереження за результатом



	B1	B10	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	D1	D2	K1	K1'	K2	K2'	Ka	Ka'	Π1	Π2	Π3	Π4	Π5	Π6	Π7	Π8	Π9	Π10	Π11	Π12	Π13	Π14	CT1	CT2	CT3	CT4	T1	T2	T3	T4	Ta1	Ta2	Ta1'	Ta2'	Ta3	Ta4
B1	1.000	-0.002	0.708	0.941	0.756	0.776	-0.565	0.566	0.567	-0.008	0.000	0.000	0.888	0.789	0.622	0.134	0.618	0.745	0.804	0.818	0.541	0.380	0.229	0.722	0.832	0.719	0.935	-0.621	-0.634	0.550	0.529	0.526	0.543	0.716	0.513	0.782	0.447	0.625	0.629	-0.467	-0.314	0.237	0.143			
B10	-0.002	1.000	-0.092	0.093	0.956	-0.091	0.833	0.895	0.916	0.791	0.003	0.938	-0.068	0.051	0.110	-0.024	0.107	0.105	0.112	-0.094	-0.094	-0.068	0.053	0.004	0.000	0.104	0.093	0.110	0.111	0.901	0.785	0.745	0.792	-0.095	0.931	0.778	-0.078	0.834	0.741	0.944	0.780	0.916	0.973			
B2	0.708	-0.092	1.000	0.837	0.948	0.931	-0.568	-0.569	0.705	0.739	0.740	0.000	0.840	0.706	0.866	0.702	0.916	-0.636	0.882	0.916	0.888	0.858	0.751	0.004	0.890	0.865	-0.528	0.967	0.880	0.551	0.978	0.528	0.768	0.648	-0.551	0.916	0.724	-0.627	-0.630	-0.470	-0.318	0.236	0.144			
B3	0.941	0.093	0.837	1.000	0.838	0.946	0.617	0.613	0.642	0.105	-0.001	-0.001	0.860	0.866	0.891	0.784	0.657	0.690	0.702	-0.590	0.897	0.976	0.320	0.004	0.916	0.908	0.755	0.740	0.690	-0.598	-0.574	0.965	-0.589	-0.593	-0.562	-0.487	0.666	-0.487	0.666	-0.487	0.666	-0.254	-0.157			
B4	0.756	0.956	0.948	0.838	1.000	0.913	0.854	0.942	0.726	0.876	0.000	0.001	-0.403	0.776	0.659	0.846	0.654	0.745	0.667	-0.574	0.776	0.698	0.774	0.004	0.000	0.634	0.556	0.660	0.671	-0.581	-0.560	-0.557	-0.574	-0.577	-0.543	-0.495	-0.473	0.662	0.666	0.494	0.333	-0.245	-0.152			
B5	0.776	-0.091	0.931	0.946	0.919	1.000	0.743	0.810	0.907	0.908	0.722	0.002	0.374	-0.337	-0.612	0.131	-0.808	-0.623	-0.619	0.721	0.716	0.238	-0.206	-0.001	-0.587	-0.616	-0.612	-0.623	0.922	-0.081	0.906	0.533	0.536	0.905	0.871	0.822	0.907	0.838	0.795	-0.305	0.323	0.368				
B6	-0.565	0.803	-0.568	0.617	0.864	0.743	1.000	0.738	0.726	0.106	0.001	-0.001	0.788	0.375	0.679	-0.146	0.673	0.692	0.688	-0.592	-0.415	0.322	0.002	0.000	0.653	0.573	0.680	0.692	0.718	0.709	0.754	0.888	0.768	0.888	0.768	-0.487	0.666	-0.487	0.666	-0.487	0.666	-0.254	-0.157			
B7	-0.568	0.895	-0.567	0.613	0.942	0.870	0.738	1.000	0.883	0.893	0.953	0.952	-0.418	0.375	0.679	-0.145	0.673	0.691	0.687	-0.591	-0.590	-0.416	0.322	-0.008	-0.002	0.789	0.570	0.678	0.691	0.834	0.763	-0.573	0.914	-0.594	-0.558	-0.508	-0.487	0.681	0.907	0.854	-0.344	0.181	0.851			
B9	-0.567	0.916	0.705	0.842	0.796	0.907	0.725	0.893	1.000	0.946	0.849	-0.001	0.813	0.732	0.715	0.853	0.630	0.691	0.687	0.688	-0.591	0.722	0.321	-0.001	0.258	0.898	0.678	0.959	0.034	0.898	-0.576	-0.593	-0.593	0.905	0.965	0.764	0.744	0.685	0.902	0.735	-0.257	-0.158				
B9'	-0.091	0.791	0.739	0.105	0.876	0.908	0.106	0.893	0.808	1.000	-0.003	0.001	-0.071	0.063	0.976	0.789	0.115	0.118	-0.098	-0.098	-0.068	0.053	0.002	0.000	0.000	0.653	0.573	0.680	0.692	0.887	-0.098	0.704	0.766	-0.101	-0.095	-0.087	-0.084	0.117	0.117	0.002	0.000	-0.004	0.001	0.000		
D1	0.000	0.003	0.740	0.000	0.000	0.722	0.001	0.953	0.849	-0.003	1.000	-0.005	0.001	0.743	0.885	-0.716	-0.001	0.000	0.704	0.000	0.828	0.857	0.000	0.000	0.943	-0.001	-0.002	-0.001	0.000	0.701	0.000	0.005	0.001	0.881	0.000	0.004	0.001	-0.002	-0.001	0.002	-0.004	-0.001	0.000			
D2	-0.001	0.916	0.000	-0.001	0.001	0.002	-0.001	0.952	-0.001	0.001	-0.005	0.000	0.001	0.953	0.882	-0.001	0.001	0.877	0.001	0.831	0.822	0.003	-0.002	0.820	-0.002	0.001	0.002	0.762	0.000	0.001	-0.001	0.741	0.001	0.923	0.001	-0.002	0.944	0.001	-0.002	0.944	0.001	0.752	-0.004			
K1	0.888	-0.068	0.840	0.860	-0.403	0.374	0.788	-0.416	0.813	-0.071	0.001	0.001	1.000	0.791	-0.457	0.823	0.952	-0.454	0.797	0.799	0.398	1.000	0.000	0.000	0.000	0.720	-0.400	0.001	-0.439	0.816	0.720	-0.465	0.402	0.938	0.386	0.391	0.912	0.750	0.950	0.838	0.738	-0.459	-0.343	-0.187	0.867	
K1'	0.789	0.061	0.706	0.968	0.778	-0.623	0.375	0.376	0.732	0.063	0.743	0.000	0.791	1.000	0.412	-0.083	0.409	0.423	0.417	-0.511	-0.358	0.859	0.195	0.874	-0.012	0.387	0.740	0.412	0.864	-0.363	0.923	-0.349	0.758	-0.392	0.812	-0.311	0.943	0.413	0.416	0.309	0.289	-0.138	0.839			
K2	-0.622	0.110	0.866	0.893	0.659	-0.612	0.679	0.673	0.115	0.976	0.895	0.728	-0.457	0.412	1.000	-0.160	0.740	0.760	0.758	-0.651	-0.649	-0.457	0.351	0.000	-0.003	0.717	0.626	0.745	0.760	-0.658	0.751	-0.632	-0.649	-0.654	-0.615	-0.561	-0.534	0.744	0.754	0.561	0.385	0.913	0.924			
K2'	0.134	-0.024	0.702	0.794	0.945	0.131	-0.146	-0.145	0.853	0.795	-0.716	0.867	0.833	-0.083	-0.100	1.000	-0.158	-0.165	-0.161	0.142	0.139	0.008	0.825	0.763	-0.003	-0.151	-0.134	-0.159	-0.162	0.949	0.138	0.833	0.139	0.978	0.876	0.120	0.114	-0.160	-0.161	-0.120	-0.083	0.013	0.974			
Ka	-0.610	0.107	0.916	0.657	0.654	-0.600	0.673	0.673	0.639	0.115	-0.001	0.001	0.992	0.409	0.749	-0.152	1.000	0.754	0.740	-0.645	-0.645	0.643	0.651	0.727	0.000	0.710	0.622	0.741	0.754	-0.654	0.741	0.765	-0.644	-0.649	0.946	-0.555	0.889	0.743	0.747	0.550	0.822	0.974	0.747			
Ka'	0.745	0.105	-0.636	0.680	0.745	-0.623	0.692	0.691	0.691	0.118	0.000	0.749	-0.464	0.423	0.760	-0.163	0.754	1.000	0.768	-0.665	-0.661	-0.464	0.301	0.003	0.000	0.730	0.810	0.119	0.386	-0.670	-0.646	-0.643	-0.662	-0.666	-0.626	-0.572	-0.546	0.763	0.768	0.570	0.381	-0.291	-0.177			
Л1	0.804	0.112	0.892	0.702	0.667	-0.619	0.688	0.687	0.687	-0.848	0.744	0.002	0.797	0.417	0.755	-0.161	0.749	0.769	1.000	0.711	0.751	0.702	0.358	0.002	-0.001	0.726	0.633	0.754	0.770	-0.657	-0.642	-0.639	-0.650	-0.675	-0.622	-0.567	-0.538	0.758	0.762	0.637	0.373	-0.268	0.738			
Л2	0.818	-0.094	0.915	-0.590	0.574	0.721	-0.592	0.591	0.688	0.942	0.000	0.001	0.799	-0.511	-0.651	0.142	-0.645	-0.655	0.711	1.000	0.806	0.103	0.801	-0.001	0.805	-0.624	-0.548	-0.289	0.841	0.573	0.808	0.550	0.567	0.869	0.808	0.489	0.647	-0.654	-0.617	-0.488	-0.326	0.718	0.152			
Л3	0.541	-0.094	0.898	0.897	0.776	0.716	-0.590	0.590	0.591	0.855	0.923	0.877	0.398	-0.358	-0.649	0.139	-0.645	-0.661	0.751	0.806	1.000	0.763	0.306	0.000	-0.001	0.910	-0.545	0.952	0.804	0.576	0.551	0.549	0.870	0.572	0.535	0.839	0.866	-0.653	-0.656	0.801	-0.334	-0.076	0.255			
Л4	0.380	-0.068	0.856	0.976	0.969	0.729	-0.415	-0.416	0.722	0.895	0.857	0.001	1.000	0.959	-0.457	0.098	0.893	-0.464	0.702	0.833	0.723	1.000	0.021	0.770	0.858	-0.439	-0.387	0.752	-0.495	0.402	0.863	0.844	0.391	0.895	0.378	0.966	0.494	0.876	-0.272	0.880	0.801	0.842	0.827			
М	-0.294	0.053	0.767	0.320	0.771	-0.286	0.322	0.320	0.321	0.726	-0.001	0.831	0.720	0.195	0.351	0.825	0.893	0.361	0.358	0.801	1.000	-0.306	-0.213	0.010	0.010	0.969	0.104	0.351	0.920	-0.310	-0.299	-0.298	-0.302	-0.310	-0.293	0.772	-0.278	0.926	0.626	0.261	0.143	-0.137	-0.071			
Н1	0.722	0.004	0.004	0.004	0.004	-0.001	0.002	0.008	-0.007	0.003	0.000	0.822	-0.840	0.874	0.000	0.783	0.727	0.003	0.002	-0.001	0.000	0.770	0.010	1.000	0.006	-0.003	0.917	-0.008	-0.003	0.947	0.011	0.003	0.924	0.008	-0.011	0.940	-0.009	-0.009	0.004	0.901	0.010	0.005	0.003			
Н2	0.032	0.000	0.890	0.910	0.000	-0.001	0.000	-0.002	0.001	0.001	0.943	0.003	0.001	-0.012	-0.003	-0.003	0.000	0.000	-0.001	0.005	-0.001	0.000	0.000	0.006	1.000	-0.003	0.002	0.000	0.716	0.005	0.032	0.960	0.945	-0.005	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	-0.004	0.001	0.003	0.713			
Нз1	0.719	0.104	0.865	0.903	0.634	-0.587	0.653	0.788	0.259	0.112	-0.001	-0.002	-0.439	0.397	0.717	-0.151	0.710	0.730	0.728	-0.624	0.910	-0.439	0.965	-0.003	-0.003	1.000	0.611	0.282	-0.610	-0.633	-0.609	-0.607	-0.623	0.923	0.959	0.866	-0.522	0.833	0.724	0.537	0.365	-0.274	-0.169			
Нз2	0.838	0.093	-0.525	0.753	0.556	-0.516	0.573	0.570	0.890	0.999	-0.002	0.820	0.836	0.730	0.638	-0.134	0.622	0.818	0.633	-0.548	-0.545	-0.387	0.104	0.917	0.002	0.611	1.000	0.891	0.175	-0.556	0.774	0.879	-0.010	0.889	0.238	0.869	0.601	0.454	0.							



6 Трехкомпонентные вибропреобразователи AP20, AP21, AP22, AP38, AP80, AP81 – Каталог фирмы “ОКТАВА” [Электронный ресурс] / Режим доступа до ресурсу: <http://www.octava.ru>

7 Сайт фірми Мікронікс (Росія) [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <http://mx-omsk.ru/content/view/30>

8 Сайт ІГЦ "Вібродіагностика" [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: [www.vibro.lg.ua](http://www.vibro.lg.ua)

9 Сайт фірми “Технекон” [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <http://www.tehnekon.ru>

10 Методика проведения технического диагностирования центробежных насосных агрегатов системы поддержания пластового давления – (РД-39-0148222-231-87Р) – ЗапСибНИИ-Днефть, 1987.

11 Попков В.И. Виброакустическая диагностика в судостроении / В.И. Попков, Э.Л. Мышинский, О.И. Попков. – Л.: Судостроение, 1983. – 256 с.

12 Pankiv Y. Development of automatized monitoring and diagnostic system of centrifugal pumps for the stratum pressure support / Y.Pankiv // The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM-2005): 8th International Conference, 23-26 February 2005: збірник матеріалів конференції CADSM-2005. – Славське, 2005. – С. 362–364.

13 Атлант-8/16/32 - многоканальный синхронный регистратор и анализатор вибросигналов (виброанализатор) [Электронный ресурс] / Режим доступу до ресурсу: [http://ntc-eds.ru/menu\\_148.html](http://ntc-eds.ru/menu_148.html)

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
14.11.13*

*Рекомендована до друку  
професором **Горбійчуком М.І.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Петришиним Л.Б.**  
(Прикарпатський національний університет,  
ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)*