

ТРАНСФОРМАНТА ГІЛЬБЕРТА ПРИ КОНТРОЛІ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

І. Л. Роговський, кандидат технічних наук

*К. О. Держан, аспірант**

e-mail: rogovskii@yandex.ua

Анотація. *Наведено результати досліджень вібраційних характеристик форсунок дизелів з застосуванням перетворення Гільберта та встановлена можливість використання їх для діагностування технічного стану кормозбирального комбайна. Відомо, що процес подачі пального є короткочасним неусталеним рухом стискання рідини, при якому від насоса до форсунки зі швидкістю звука йде первинна хвиля тиску. Різкий перехід від поперечного перерізу каналу паливопроводу до перерізу соплових отворів гальмує рух пального і викликає гідравлічний удар. В момент впорскування через розпилюючі отвори потік пального має турбулентний характер. Турбулентність виникає також і в результаті стискання струменю в соплі і наступного розширення. Турбулентний рух рідини характеризується нерегулярністю, неупорядкованою зміною (пульсацією) швидкості в часі в кожній точці потоку і пульсацією тиску. Спектр амплітуд і частот пульсацій швидкості і тиску досить широкий. Таким чином, основними джерелами коливань корпусу форсунки є рух голки розпилювача та гідродинамічні процеси, що виникають в процесі подачі і впорскування пального. А такі відмови, як зміна зусилля попередньої затяжки і поломка пружини форсунки, зависання голки розпилювача і зміна циклової подачі пального призводять до зміни цих гідродинамічних процесів, що безумовно відображається і на віброакустичних процесах, що протікають у форсунці.*

Отже, віброакустичні характеристики форсунок можуть бути використані для безрозбірної діагностики їх безпосередньо на дизелі.

Ключові слова: *вузол, дефект, параметр, трансформанта, кормозбиральний комбайн*

Постановка проблеми. Широке застосування віброакустичного методу діагностування для оцінки технічного стану віброактивних вузлів машин пояснюється універсальністю методу і можливістю виявлення широкого кола дефектів без розбирання цих вузлів, технологічністю первинних перетворювачів (вібродатчиків)

*Науковий керівник – кандидат технічних наук І. Л. Роговський

© І. Л. Роговський, К. О. Держан, 2016

і зручністю установки їх на об'єкт. Однак, вібраційний процес є сукупністю значної кількості сигналів, які розповсюджуються від віброактивних джерел до датчиків, що ускладнює виділення корисної діагностичної інформації. Динамічні процеси, які протікають і різних кінематичних парах і системах машин, відрізняються моментом появи ударного імпульсу, частотою повторення і інтенсивністю взаємодії. Оцінка ж роботоздатності форсунок безпосередньо на дизелі дуже важлива, оскільки виділення корисної інформації із вібраційного процесу застосовують різні методи локалізації: часової, частотної і амплітудної селекції. Аналіз діагностичного сигналу ускладнюється також швидкоплинністю вібраційних процесів, які протікають, наприклад, в форсунках дизельних двигунів.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що процес подачі пального є короткочасним неусталеним рухом стискання рідини, при якому від насоса до форсунки зі швидкістю звука йде первинна хвиля тиску. Різкий перехід від поперечного перерізу каналу паливопроводу до перерізу соплових отворів гальмує рух пального і викликає гідравлічний удар. В момент впорскування через розпилюючі отвори потік пального має турбулентний характер. Турбулентність виникає також і в результаті стискання струменю в соплі і наступного розширення. Турбулентний рух рідини характеризується нерегулярністю, неупорядкованою зміною (пульсацією) швидкості в часі в кожній точці потоку і пульсацією тиску. Спектр амплітуд і частот пульсацій швидкості і тиску досить широкий. Таким чином, основними джерелами коливань корпусу форсунки є рух голки розпилювача та гідродинамічні процеси, що виникають в процесі подачі і впорскування пального. А такі відмови, як зміна зусилля попередньої затяжки і поломка пружини форсунки, зависання голки розпилювача і зміна циклової подачі пального призводять до зміни цих гідродинамічних процесів, що безумовно відображається і на віброакустичних процесах, що протікають у форсунці. Отже, віброакустичні характеристики форсунок можуть бути використані для безрозбірної діагностики їх безпосередньо на дизелі. Найважливішою здатністю є виділення із вібраційного процесу інформативних складових і формування з них діагностичних параметрів. Оцінка загального рівня вібрації в дефекаційних зонах агрегатів машин не забезпечує достатньої точності результатів діагнозу [1]. Більш ефективний частотний аналіз сигналів, який дозволяє виділити необхідну інформативну складову. Наприклад, енергія вібрації, що формується співударяннями поршня об гільзу, зосереджена в діапазоні частот від 2 до 6 кГц, клапанного механізму газорозподілу – від 5 до 9 кГц, форсунки – від 10 до 20 кГц [2]. Такий метод виділення вібрацій окремих механізмів агрегатів машин застосовувався в електронній діагностичній установці ДИПС [3].

Аналіз робіт з цього напрямку [4] свідчить, що енергія вібрації форсунок найбільш активно проявляється в діапазоні частот від 12 кГц до 18 кГц. Частота власних коливань форсунки знаходиться в ультразвуковому частотному діапазоні [5]. Однак, автори неоднозначні у впливі ударної дії голки розпилювача на вібраційні характеристики форсунки.

Найбільш реальним, на наш погляд, з практичної точки зору, є використання вібраційних характеристик форсунок для оцінки ідентичності їх роботи на дизелі, визначення кута випередження початку впорскування, виявлення таких відмов, як поломка пружини форсунки та зависання голки розпилювача.

Мета досліджень: визначити можливість оцінки роботоздатності форсунок за їх вібраційними характеристиками.

Результати досліджень. В загальному вигляді віброакустичний підхід до діагностування оснований на вираженні стану віброактивного вузла в часовій області t в вигляді диференційного рівняння: $F(\ddot{x}, \dot{x}, x, g, t) = 0$, яке пов'язує

віброакустичні параметри \ddot{x}, \dot{x}, x – узагальнені прискорення, швидкість, переміщення – відповідно вектору стану g .

Часто при дослідженні коливань здійснюють перехід до комплексного простору. Це дозволяє розглянути процес коливань в часі. Найчастіше для переходу від матеріального простору до комплексного в часовій області застосовують побудову вектора уявної частини комплексного вектора як перетворення Гільберта вихідного матеріального вектора.

Експериментальна установка для проведення досліджень включала: стенд КИ-6251 для випробування і регулювання дизельної паливної апаратури з електронним блоком задачі і індикації контрольованих параметрів паливного насоса ЛСТНФ; ПЕОМ з платою L-1250 для вводу, виводу і оброблення аналогової та цифрової інформації. Форсунка з вібродатчиком установлювалась в датчик впорскування навісної конструкції, що виключало вплив роботи стенда на сигнал вібродатчика. На рис. 1,а представлено сигнал віброперетворювача, установленого на торці гайки форсунки. Як видно, сигнал не зручний навіть для візуального порівняння сигналів форсунок з різних циліндрів двигуна.

Програмне забезпечення, яке застосовувалось, дозволяє отримувати перетворення Гільберта шляхом прямого і зворотного перетворення Фур'є, яке представлено на рис. 1,б та рис. 1,в.

На сигналі датчика, як і на трансформанті Гільберта (рис. 1,б), чітко проглядається два характерних віброімпульси, які відповідають

підйому і посадці голки розпилювача. При збільшенні частоти обертання (рис. 1,в) в 2 рази зростає амплітуда першого віброімпульсу.

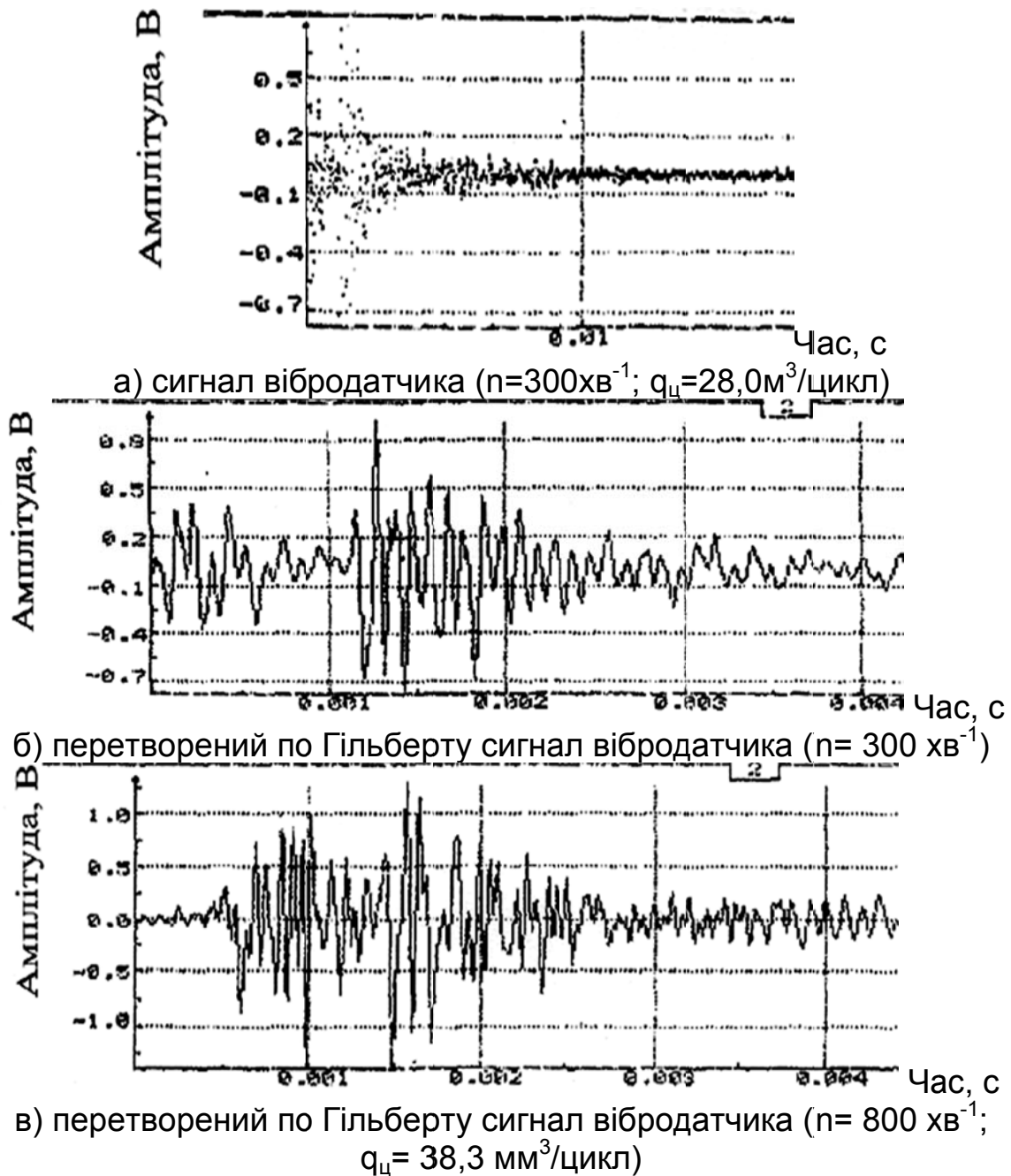
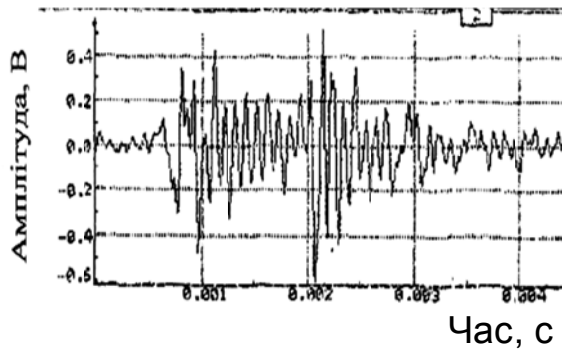
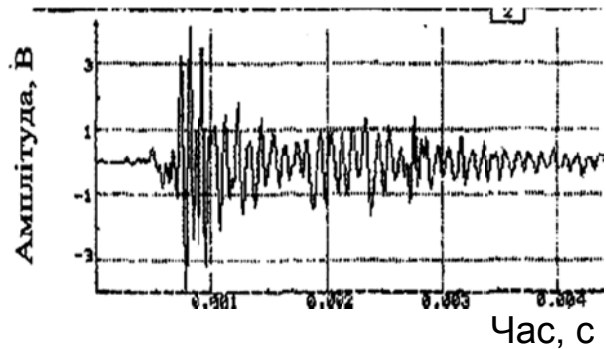


Рис. 1. Реалізація вібрацій форсунки ФД-22 при $P_{\phi} = 17,5 \text{ МПа}$.

На наступному етапі (рис. 2) імітувалась поломка пружини форсунки зменшенням тиску P_{ϕ} до $8,0 \text{ МПа}$. Положення рейки насоса залишалось незмінним. На режимі $n=300 \text{ хв}^{-1}$ (рис. 2,а) зменшилась амплітуда другого віброімпульсу в 1,5 рази. При збільшенні частоти обертання при такому дефекті в 6 разів зростає амплітуда першого віброімпульсу і зникає другий віброімпульс, що навіть візуально відображає таку несправність форсунки (рис. 2,б).



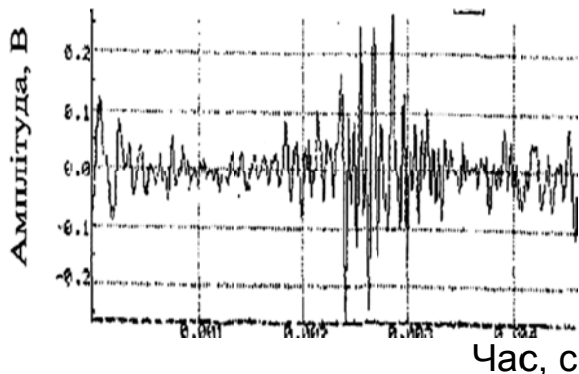
а) перетворений по Гільберту сигнал вібродатчика ($n=300 \text{ хв}^{-1}$)



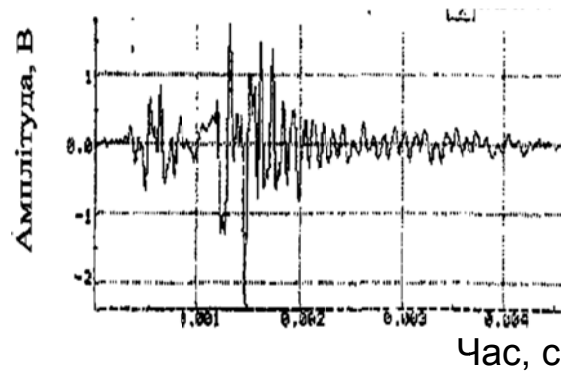
б) перетворений по Гільберту сигнал вібродатчика ($n=800 \text{ хв}^{-1}$; $q_{ц}=40,0 \text{ мм}^3/\text{цикл}$)

Рис. 2. Реалізація вібрацій форсунки ФД-22 при поламаній пружині ($P_{ф}=8,0 \text{ МПа}$).

На рис. 3 представлено реалізацію вібрації форсунки під час зависання голки розпилювача. Герметичність розпилювача незадовільна, циклова подача зменшилася до $8,7 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Такий дефект призводить до суттєвих змін сигналу вібродатчика (рис. 3,б). Тривалість його збільшується в 3 рази, а амплітуда зменшується в 4 рази. Такі зміни відображає і перетворення Гільберта (рис. 3,а).



а) перетворений по Гільберту сигнал вібродатчика ($n=300 \text{ хв}^{-1}$)

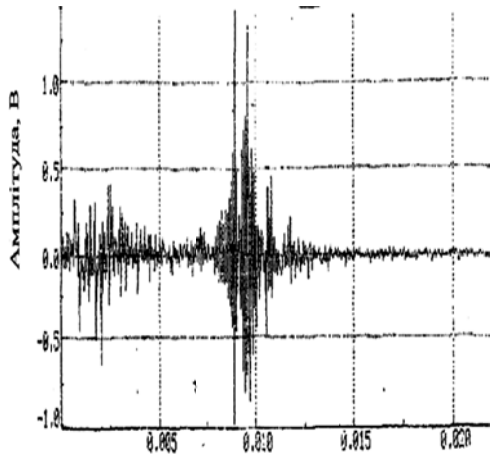


б) перетворений по Гільберту сигнал вібродатчика ($n=800 \text{ хв}^{-1}$; $q_{ц}=31,6 \text{ мм}^3/\text{цикл}$)

Рис. 3. Реалізація вібрацій форсунки ФД-22 при зависанні голки розпилювача.

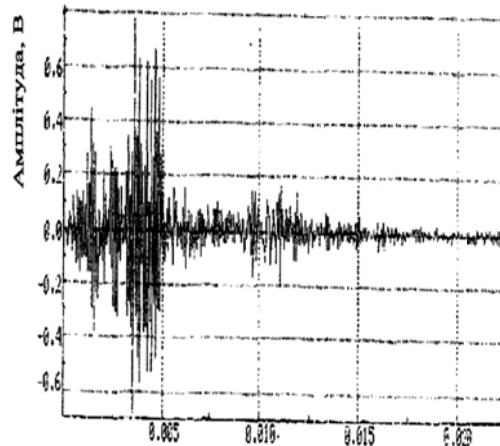
Зменшення амплітуди вібросигналу пояснюється тим, що коли голка знаходиться в завислому стані, пальне без затримки надходить до розпилюючих отворів. Внаслідок цього зменшується тиск перед розпилюючими отворами, що зменшує швидкість турбулентного руху частинок пального, які також визначають енергію вібрацій форсунки. Аналогічне явище спостерігається і у випадку послаблення затяжки пружини внаслідок її поломки. Пальне практично вільно проходить через розпилювач. При збільшенні частоти обертання різко збільшується тиск пального, що і підвищує інтенсивність вібрацій. Загалом, результати проведених

експериментів свідчать про можливість оцінки ідентичності роботи форсунок і виявлення таких дефектів, як поломка пружини і зависання голки розпилювача за віброакустичними параметрами.



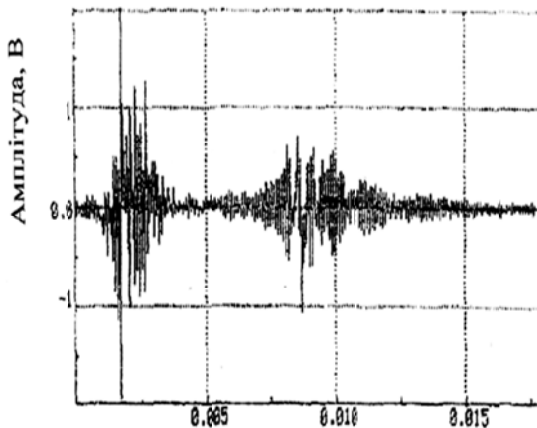
Час, с

Рис. 4. Вібрація форсунки ФД-22 на двигуні трактора при $P_{\phi}=27,0$ МПа.

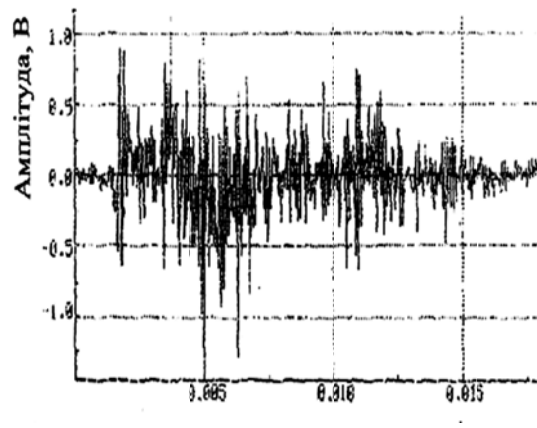


Час, с

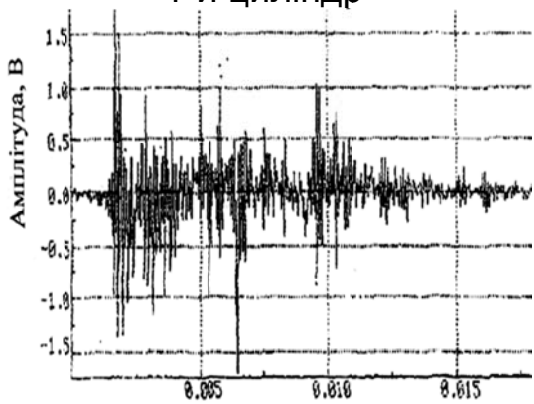
Рис. 5. Вібрація форсунки ФД-22 на двигуні трактора при $P_{\phi}=8,0$ МПа.



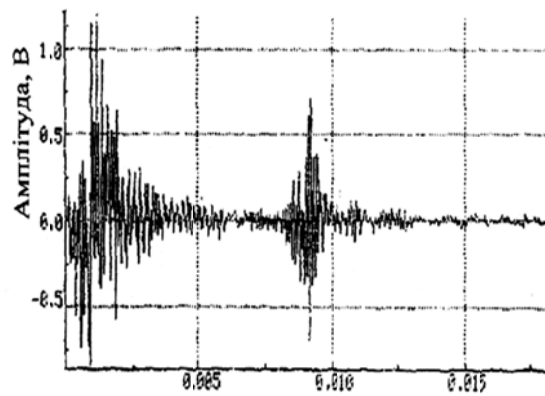
1-й циліндр



2-й циліндр



3-й циліндр



4-й циліндр

Рис. 6. Результати оброблення вібросигналів штатних форсунок двигуна трактора при $n = 900$ хв⁻¹.

На другому етапі вібраційні характеристики форсунок досліджувалися на дизелі Д 65Н трактора ПМЗ-6АКЛ. Вібродатчик і форсунка застосовувались ті, що і під час стендових випробувань. Форсунка з датчиком установлювалися на місце штатної форсунки третього циліндра. Спектральний аналіз вібраційних процесів показав, що основним спектром частот вібрації форсунки на двигуні є частоти в діапазоні від 5 кГц до 10 кГц, а вібрація головки циліндрів (вібродатчик встановлювався на шпильку головки двигуна) відбувається на частоті 2 кГц, яка знаходиться за межами цього діапазону і не спотворює сигнал з форсунки. Для імітації дефектів, не знімаючи форсунки з двигуна, за допомогою пристрою для перевірки форсунок тиск початку впорскування змінювався. Збільшення тиску початку впорскування до 27,0 МПа (рис. 4), що створює умови заклинювання розпилювача, призводить до зменшення тривалості діагностичного сигналу майже в 2 рази.

Зменшення тиску початку впорскування ($P_{\phi}=8,0$ МПа), що відповідає випадку поломки пружини форсунки, призводить (рис. 5) до зміни форми сигналу і збільшення тривалості впорскування в 1,5 рази. При цьому спостерігається димний вихлоп двигуна, що є наслідком незадовільного розпилювання палива і порушення робочого процесу в циліндрі двигуна.

На рис. 6 представлені результати оброблення вібросигналів штатних форсунок двигуна, які свідчать про неідентичність їх роботи. Одержані результати відповідають даним стендових випробувань і підтверджують адекватність оцінки технічного стану форсунок.

Висновок. Енергія вібрацій форсунки ФД-22 найбільш активно проявляється на частотах від 5 кГц до 10 кГц. Застосування перетворення Гільберта для аналізу вібросигналів дозволило встановити можливість використання його для оцінки ідентичності роботи форсунок на працюючому дизелі та виявлення таких дефектів, як поломка пружини, зависання голки розпилювача.

Список літератури

1. *Роговский И. Л.* Безвідмовність паливної системи ДВЗ кормозбиральних комбайнів / *И. Л. Роговский, К. О. Держан* // Збірник тез доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» (17-18 лютого 2016 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2016. – С. 112–114.
2. *Дубровин Валерий.* Периодичность в системе технического обслуживания кормоуборочных комбайнов / *Валерий Дубровин, Евгениуш Красовски, Константин Держан, Иван Роговский* // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2014. – Том 16, № 3. – Р. 288–295.
3. *Пакет* обработки сигналов / Ч. 1. Руководство пользователя. Ч. II. Алгоритмы обработки. Ч. III. Методические указания по обработке. – М.: МПП «Мера», 1996. – 168 с.

4. *Роговский И. Л.* Влияние условий эксплуатации на технический стан кормозбиральных комбайнов / *И. Л. Роговский, К. О. Держан* // Сборник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» (1 березня 2016 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2016. – С. 73–74.
5. *Роговский И. Л.* Техническое обслуживание кормозбиральных комбайнов в условиях рядовой эксплуатации / *И. Л. Роговский, К. О. Держан* // Сборник тез доповідей XII Міжнародної наукової конференції «Рациональное использование энергии в технике» (17-20 травня 2016 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2016. – С. 87–89.

References

1. *Rohovsky, I. L., Derzhan, K. O.* (2016). Bezvidmovnist' palyvnoyi systemy DVZ kormozbyral'nykh kombayniv [The reliability of the fuel system of internal combustion engines forage harvesters]. Zbirnyk tez dopovidey III Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Kramarovs'ki chytannya» (17-18 lyutoho 2016 roku) / Natsional'nyy universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. K., 112–114.
2. *Dubrovyn Valeryy, Evhenyush Krasovsky, Konstantyn Derzhan, Ivan Rohovsky.* (2014). Peryodichnost' v systeme tekhnicheskoho obsluzhyvannya kormouborochnykh kombaynov [The frequency of the maintenance system for forage harvesters]. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. T. 16, 3, 288–295.
3. *Paket obrabotky sygnalov* (1996). [Package signal processing] / Ch. 1. Rukovodstvo pol'zovatelya. Ch. II. Alhorytmny obrabotky. Ch. III. Metodicheskiye ukazaniya po obrabotke. M.: MPP «Mera», 168.
4. *Rohovsky, I. L., Derzhan, K. O.* (2016). Vplyv umov ekspluatatsiyi na tekhnichnyy stan kormozbyral'nykh kombayniv [The influence of operating conditions on the technical condition of the forage harvesters]. Zbirnyk tez dopovidey XI Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Obukhivs'ki chytannya» (1 bereznya 2016 roku) / Natsional'nyy universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. K., 73–74.
5. *Rohovsky, I. L., Derzhan, K. O.* (2016). Tekhnichne obsluhovuvannya kormozbyral'nykh kombayniv v umovakh ryadovoyi ekspluatatsiyi [Maintenance of forage harvesters in the conditions of ordinary operation]. Zbirnyk tez dopovidey XII Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi «Ratsional'ne vykorystannya enerhiyi v tekhnitsi» (17-20 travnya 2016 roku) / Natsional'nyy universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. K., 87–89.

ТРАНСФОРМАНТА ХИЛБЕРТ ПРИ КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

И. Л. Роговский, К. А. Держан

Аннотация. Приведены результаты исследований вибрационных характеристик форсунок дизелей с применением преобразования Гильберта и установлена возможность использования их для диагностики технического состояния кормоуборочного комбайна. Известно, что процесс подачи топлива является кратковременным неусталенным движением сжатия жидкости, при котором от насоса до форсунки со скоростью звука идет первичная волна давления. Резкий переход от поперечного сечения канала топливопровода к сечению

сопловых отверстий тормозит движение горючего и вызывает гидравлический удар. В момент впрыскивания через распыляющие отверстия поток топлива имеет турбулентный характер. Турбулентность возникает также и в результате сжатия струи в сопле и следующего расширения. Турбулентное движение жидкости характеризуется нерегулярностью, неупорядоченной изменением (пульсацией) скорости во времени в каждой точке потока и пульсацией давления. Спектр амплитуд и частот пульсаций скорости и давления достаточно широк. Таким образом, основными источниками колебаний корпуса форсунки является движение иглы распылителя и гидродинамические процессы, возникающие в процессе подачи и впрыска топлива. А такие отказы, как изменение усилия предварительной затяжки и поломка пружины форсунки, зависание иглы распылителя и изменение цикловой подачи топлива приводят к изменению этих гидродинамических процессов, что безусловно отражается и на виброакустических процессах, протекающих в форсунке.

Итак, виброакустические характеристики форсунок могут быть использованы для безразборной диагностики их непосредственно на дизеле.

Ключевые слова: узел, дефект, вариант, трансформанта, кормоуборочный комбайн

TRANSFORMANT HILBERT IN CONTROL PARAMETERS OF TECHNICAL CONDITION OF FORAGE HARVESTER

I. L. Rogovskii, K. O. Derzan

Abstract. *The results of investigations of vibration characteristics of diesel nozzles with the use of the Hilbert transform and the possibility of their use for diagnostics of the technical condition forage harvester. It is known that fuel supply is short neostalinism movement of the compression liquid, wherein from the pump to nozzle at speed of sound is the primary wave pressure. The abrupt transition from the cross section of the fuel channel to the cross section of nozzle inhibits the movement of fuel and causing a hydraulic shock. At the time of injection through the spray holes of fuel flow has a turbulent nature. Turbulence occurs also as a result of compression of the jet in the nozzle and following the expansion. Turbulent fluid flow is characterized by irregular, disordered change (pulsation) of the velocity in time in each point of the flow and pressure pulses. Range of amplitudes and frequencies of pulsations of velocity and pressure is quite broad. Thus, the main sources of the fluctuations in the housing of the atomizer is needle atomizer, and hydrodynamic processes that occur in the process of injection of fuel. And these failures, as the change efforts pre-tightening and breakage of spring injector stuck in the needle spray, and change of*

cyclic fuel supply lead to changes in these hydrodynamic processes, which is certainly reflected in vibro-acoustic processes in the jet.

So, the vibro-acoustic characteristics of nozzles can be used for CIP diagnosis directly on the engine.

Key words: *knot, defect, option, transformant, forage harvester*

УДК 631.372.62

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

О. М. Бистрий, здобувач*

І. Л. Роговський, кандидат технічних наук

e-mail: rogovskii@yandex.ua

Анотація. *В процесі експлуатації зернозбиральних комбайнів основним критерієм ефективного використання їх є максимально допустима продуктивність при найменших затратах живої і уречевленої праці із заходами дотримання агротехнологічної якості виконання технологічного процесу та вимог охорони праці і впливу на навколишнє середовище. Тому одним із дієвих напрямків забезпечення максимально допустимої продуктивності зернозбирального комбайна є його експлуатаційно-технологічна безвідмовність.*

Для встановлення аналітичного зв'язку між показниками продуктивності зернозбирального комбайна і його експлуатаційно-технологічної безвідмовності, як складної технічної системи при заданій якості, необхідно застосувати загальну теорію надійності і продуктивності, які з високим ступенем достовірності можемо застосувати ототожнено до виробничих технологічних процесів.

Ключові слова: *аналіз, експлуатація, технологічність, безвідмовність, зернозбиральний комбайн*

Постановка проблеми. В процесі експлуатації зернозбиральних комбайнів [1] основним критерієм ефективного використання їх є максимально допустима продуктивність при найменших затратах живої і уречевленої праці із заходами дотримання агротехнологічної якості виконання технологічного процесу [2] та вимог охорони праці і впливу на навколишнє середовище [3].

*Науковий керівник – кандидат технічних наук І. Л. Роговський

© О. М. Бистрий, І. Л. Роговський, 2016