

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 674.05

В. С. Джигирей, Л. А. Катренко, Р. А. Яцюк, О. Я. Литвиняк  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ ПІД ЧАС РОБОТИ ДЕРЕВООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Джигирей В. С., Катренко Л. А., Яцюк Р. А., Литвиняк О. Я., 2019

Розроблено засоби зниження рівня шуму, який виникає під час роботи фрезерувальних шпинделів деревообробного обладнання. Таке обладнання є джерелом підвищеного рівня шуму на виробництві. Значний шум створюють верстати стругальної групи (фугувальні верстати), в яких як різальний інструмент застосовують ножові вали. Для експериментальних досліджень використовували фрезерувальні шпинделі, діаметр яких становив  $\varnothing 62,5$  мм, а їх довжина дорівнювала 200 мм. Ідентифікували рівні шуму у діапазоні частот обертання вала. Згідно з експериментальними дослідженнями встановлено, що загальний рівень механічного шуму зростає повільніше, ніж загальний рівень аеродинамічного шуму. Окрім цього, експериментальними дослідженнями встановлено, що до частоти обертання вала  $5000 \text{ хв}^{-1}$  переважає механічний шум, а із збільшенням частоти обертання вала понад  $5000 \text{ хв}^{-1}$  переважає аеродинамічний шум. На основі проведених експериментальних досліджень розроблено конструкцію складового шпинделя для фугувального верстата. Вона є доцільною через наявність наскрізних каналів, що дає змогу усувати пульсацію тиску повітря за наближення ножів до накладок робочих столів. Окрім цього, із наближенням до накладок ножів складаного шпинделя стиснуте повітря переходить із зони підвищеного тиску до зони нормального тиску крізь наскрізні канали. Із використанням складаного шпинделя, маса якого є меншою за масу циліндричного шпинделя, знижується структурна (механічна) складова шуму, а на робочому місці працівника рівні звукового тиску є близькі до нормативних значень.

**Ключові слова :** деревообробне обладнання, фрезерувальний шпиндель, вихоровий шум, механічний шум, методи захисту від шуму, спектрограма рівнів шуму, вплив шуму на людей.

This article is about development the means for noise abatement, which appears during the work of milling spindles of woodworking equipment. It is source of noise level in the manufacture. The considerable noise is created by jointing machines. For experimental researches were used milling spindles, diameter of which was  $\varnothing 62.5$  mm and its length was 200 mm. The experimental researches allowed determining that mechanical noise predominates by shaft speed, which is equal to  $5000 \text{ minutes}^{-1}$ . However, aerodynamic noise predominates if shaft speed, which is equal above  $5000 \text{ minutes}^{-1}$ . According to the experimental researches were developed the construction of compound spindle for jointing machine in view of structural and air components of noise. At the time of use compound spindle in woodworking equipment, sound pressure level is similar to normative values.

**Key words :** woodworking equipment, milling spindle, vertical noise, mechanical noise, methods of acoustic protection, spectrogram of noise level, influence of noise on people.

**Постановка проблеми.** Деревообробне обладнання є джерелом підвищеного рівня шуму на виробництві. Значний шум створюють верстати стругальної групи (фугувальні верстати), в яких як різальний інструмент застосовують ножові вали. Фугувальні верстати використовують для точного стругання і вирівнювання поверхонь заготовок. Спектрограма рівнів шуму, генерованого фугувальним верстатом у межах частот 63–8000 Гц, показує, що рівні спектральних складових шуму значно перевищують в середньо- та високочастотній частині спектра допустимі значення (рівні звукового тиску становлять 95–100 дБ), а рівні звуку – 100 дБА, що теж перевищує нормативне значення [1]. Отже, необхідно розробляти засоби для зниження рівня шуму деревообробного обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Робота фрезерувальних шпинделів супроводжується повітряним (аеродинамічним) та структурним (механічним) шумами. Фрезерувальні шпинделі, котрі обертаються у повітряному середовищі, спричиняють коливання швидкості та тиску повітря, що зумовлює виникнення аеродинамічного шуму. Явища, котрі відбуваються під час порушення стаціонарності повітряного середовища, зумовлюються початковими причинами, пов'язаними із виникненням вихорового шуму, шуму від неоднорідності потоку та шуму обертання. Істотне значення мають і вібрації шпиндельного вузла, які виявляються у вигляді структурного шуму [1].

Вихоровий шум зумовлюється пульсаціями тиску на ножах, які спричинені відривом повітряного потоку з ножів шпинделя, що обертається. Виникнення вихорів – це автоколивний процес, котрий характеризується тим, що його частота пропорційна до швидкості повітряного потоку. Джерелом коливань є енергія потоку повітря.

Періодичне зривання вихорів з частотою, котра визначається швидкістю потоку, величиною виступу ножів та критерієм Рейнольдса, спричиняє періодичні імпульси стискань, які поширюються у вигляді звукової хвилі. Звук виникає лише з утворенням вихора. Утворена вихорова доріжка Кармана не є джерелом шуму, оскільки спричинені нею коливання швидкості та тиску швидко загасають у напрямку найбільшого випромінювання звуку. Проте, вихор, який наближається до перепони, може спричинити появу звукового імпульсу через зміну розподілу тиску на ній. У цьому випадку він є джерелом шуму від неоднорідності потоку – так званий шум взаємодії [1].

Накладки робочого стола завжди обтікаються неоднорідним за швидкістю та тиском потоком. Неоднорідністю слід вважати різницю між швидкісним напором та статичним тиском в аеродинамічному сліді за ножами. Кожного разу, коли ніж проходить поблизу накладки або іншої перепони, виникає імпульс тиску. Основна частота шуму від неоднорідності потоку залежить від кількості ножів та числа обертів. Шуми від неоднорідності потоку та вихоровий шум мають подібне походження, і їхня звукова потужність пропорційна до шостого степеня частоти обертання.

Шпиндель, що обертається, є джерелом збурень навколишнього середовища в абсолютному русі. Ножі призводять до виникнення шуму обертання. У відносному русі шум обертання відсутній – є лише відхилення швидкостей та тисків від середніх значень. Причиною шуму обертання є переміщення у просторі аеродинамічних джерел, а шуму від неоднорідності потоку – нерухомі в абсолютному русі акустичні джерела [2].

Робота фрезерувальних шпинделів супроводжується також коливаннями механічного походження. Сили інерції є головними джерелами збурювальних сил, котрі спричиняють вібрації шпиндельних вузлів. Ці сили зумовлені переважно конструктивною та технологічною незрівноваженостями шпинделів. Наслідком дисбалансу є незбіг геометричних та інерційних осей обертючих мас із осями обертання, що призводить до появи додаткових сил і моментів, які через шпиндельні вузли передаються іншим елементам верстата. У разі виникнення механічного шуму визначальними чинниками є, крім розмірів, швидкості обертання, типу конструкції, механічні властивості матеріалів, а також експлуатаційні складові (стан поверхонь тертя, змащення тощо).

Джерелами динамічних імпульсів, структурного шуму є також підшипники. Через підшипникові вузли всі незрівноважені силові впливи передаються від обертючих деталей на нерухомі. У робочому режимі додаються шуми від вібрацій матеріалу, що обробляється, та від процесу різання, що має ударний характер. Механічний шум пропорційний до другого степеня частоти обертання шпинделів [2, 3].

Відомо, що тривала дія шуму на організм людини призводить до послаблення гостроти зору та слуху, зниження уваги, працездатності та продуктивності праці. Інтенсивний та довготривалий шум може бути причиною функціональних змін серцево-судинної і нервової систем, навіть можливе виникнення у працівників виразки шлунку [4, 5]. Відповідно, важливо застосовувати заходи і засоби для зниження рівня шуму під час роботи деревообробного обладнання задля створення відповідних умов праці та збереження здоров'я, працездатності та продуктивності праці працівників.

**Формулювання мети дослідження.** Розробити засоби для зменшення рівнів шуму, які виникають під час роботи фрезерувальних шпинделів деревообробного обладнання.

**Викладення основного матеріалу.** Експериментальні дослідження виконували на моделях фрезерувальних шпинделів у масштабі 1:2. З урахуванням масштабу моделювання було прийнято розміри шпинделів: діаметр шпинделів 62,5 мм, а довжина – 200 мм.

Кутові параметри ножів прийнято такими:

- задній кут – 35°;
- кут загострення – 45°;
- передній кут – 20°.

Матеріал ножів – легувана інструментальна сталь марки 9Х5ВФ. Кількість ножів – 2. Спосіб кріплення ножів – глухими клинами. Ступінь гостроти ножів  $\rho = 10$  мкм. Ножі балансувались. Різниця у вазі – не більше за 1,5 г. Частота обертання валів була у діапазоні 500 – 8000  $\text{хв}^{-1}$ . Зміни швидкості обертання досягали завдяки використанню тиристорного привода ЕТО-2.

З метою ідентифікації джерел шуму та перевірки ролі складових визначали рівні шуму у зазначеному діапазоні частот обертання. Результати вимірювань подано у напівлогарифмічній системі координат. Пряма у цій системі координат вказує на степеневу залежність функції від аргументу (рівня шуму від частоти обертання вала) (рис. 1).

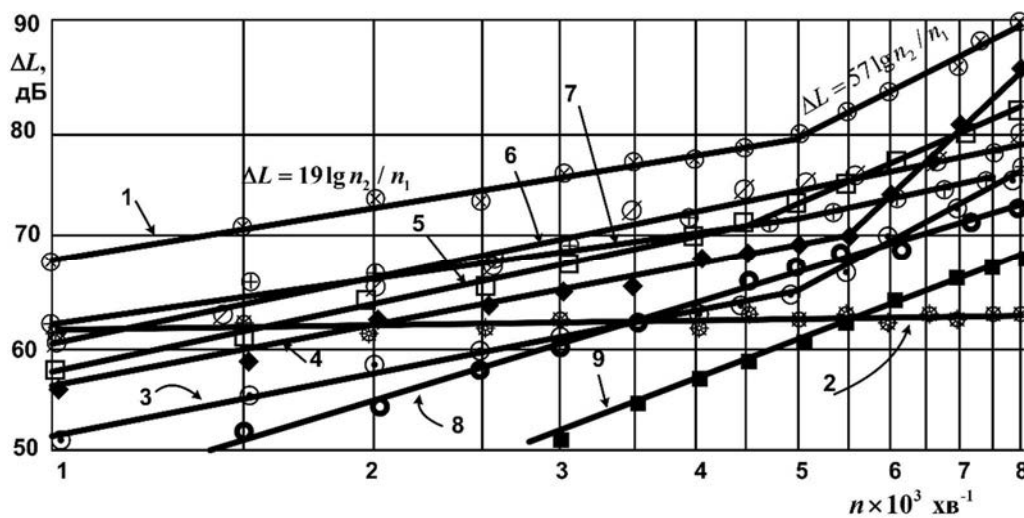


Рис.1. Залежність рівня шуму шпинделя з ножами від частоти обертання вала:

1 – загальний рівень; 2 –  $f=63$  Гц; 3 –  $f=125$  Гц; 4 –  $f=250$  Гц; 5 –  $f=500$  Гц;

6 –  $f=1000$  Гц; 7 –  $f=2000$  Гц; 8 –  $f=4000$  Гц; 9 –  $f=8000$  Гц

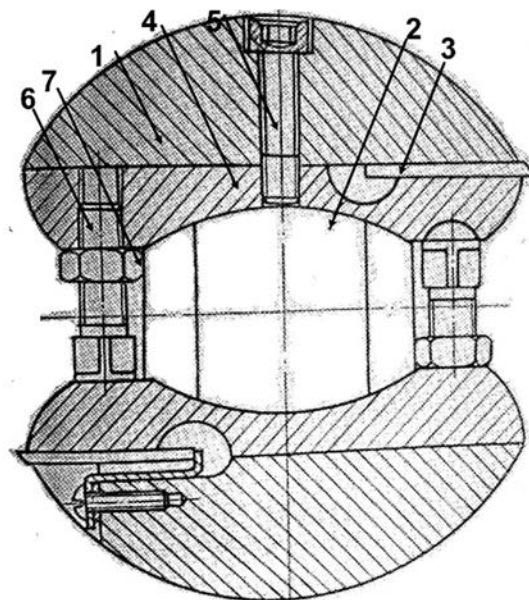
Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що загальний рівень механічного шуму зростає повільніше, ніж аеродинамічний (рис. 1). При цьому до частоти обертання вала 5000  $\text{хв}^{-1}$  має місце механічний шум, приріст шуму 19, що відповідає показнику степеня частоти обертання 1,9.

За частоти обертання понад 5000  $\text{хв}^{-1}$  переважає аеродинамічний шум, а механічний шум ним маскується. Показник степеня частоти обертання наближається до 6. Вимірювання в октавних смугах частот показують внесок частотних складових шуму у загальний його рівень. Частоти

пікових складових – 125 та 250 Гц, зафіксовано також гармоніки на високих частотах. Спектри шуму зумовлені широкосмуговим фоном та тональними складовими, що накладаються на нього. Широкосмуговий фон утворюється зривом вихорів та турбулентним потоком, що надходить на накладки робочих столів. Тональні складові зумовлюються періодичними змінними силами, які виникають внаслідок аеродинамічних взаємодій рухомих та нерухомих елементів конструкції.

На основі отриманих результатів розроблено дієвий засіб зниження шуму в джерелі його виникнення, а саме конструкцію складаного шпинделя для фугувального верстата (рис. 2) із урахуванням структурної та повітряної складових шуму.

Складаний шпиндель містить корпус 1, який має наскрізні канали, розділені перемичками 2 завтовшки 15 мм. Довжина шпинделя становить 637 мм, а кількість перемичок – 4. Плоскі ножі 3 фіксуються в корпусі за допомогою притискної планки 4, яка кріпиться до корпусу на чотирьох болтах 5. Зафіксовано притискну планку і ножі натискними болтами 6, торці яких встановлюють до виїмок на притискних планках. Після встановлення ножів та їх фіксації натискними болтами їх підтискають контргайками 7. Натискні болти розташовані симетрично між перемичками. Регулюють виступ ножів гвинтами (рис. 2).



*Рис. 2. Елементи шпиндельного вузла  
зі зниженням шумоутворення:*

- 1 – корпус шпинделя; 2 – перемичка; 3 – ніж;*
- 4 – притискна планка; 5 – болт;*
- 6 – натискний болт; 7 – контргайка*

Наведена конструкція є доцільною з низки причин. По-перше, наявність наскрізних каналів усуває пульсацію тиску повітря із наближенням ножів до накладок робочих столів. У випадку застосування шпинделів традиційної форми повітряні маси, які тягнуться за ножами в зоні накладок, підлягають ущільненню, внаслідок чого виникають хвилі стискання і розрідження. Це зумовлює виникнення вихорового шуму і шуму від неоднорідності потоку. А із наближенням до накладок ножів складаного шпинделя стиснуте повітря переходить із зони підвищеного тиску в зону нормального тиску через наскрізні канали. По-друге, маса складаного шпинделя менша ніж маса циліндричного шпинделя. А це важливо, оскільки зменшення маси в цьому випадку призводить до меншого залишкового дисбалансу і, як наслідок, до зниження структурної (механічної) складової шуму. Зниження рівня шуму досягають у широкому діапазоні частот, спектр наближається до нормативних значень (табл.).

**Рівні шуму, що генеруються фугувальним верстатом СФ-6 у холостому режимі  
(частота обертання валів  $n=5000 \text{ хв}^{-1}$ )**

Тип шпинделя	Рівні звукового тиску дБ, в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Допустимі значення згідно з (ДСН 3.3.6.037-99) [6]	98	92	88	85	81	79	75	73
Циліндричний шпиндель	71	85	92	87	88	89	81	70
Складаний шпиндель	67	79	88	84	82	81	76	67

Аналізуючи рівні звукового тиску, які наведені у таблиці, можна стверджувати, що використання складаного шпинделя для фугувального верстата як засобу для зниження рівня виробничого шуму є доцільнішим, ніж застосування циліндричного шпинделя.

**Висновки.** Для розроблення засобів, які необхідно використовувати для зниження рівня шуму при роботі деревообробного обладнання, були проведені експериментальні дослідження на моделях фрезерувальних шпинделів. Ідентифікували рівні шуму у діапазоні частот обертання вала. Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями було встановлено, що зростання загального рівня механічного шуму відбувається повільніше, ніж аеродинамічного. За результатами експериментальних досліджень запропоновано конструктивний метод захисту від виробничого шуму деревообробного обладнання, а саме заміну циліндричного шпинделя на складаний шпиндель у конструкції фугувального верстата та було встановлено, що використання складаного шпинделя для фугувальних верстатів забезпечує рівні звукового тиску на робочому місці, наближені до нормативних значень.

1. *Виробничий шум: природа та шляхи зниження* / В. М. Сторожук. – К.: Основа, 2003. – 384 с. 2. *Апостолюк С. О. Охорона праці в лісопильно-деревообробному виробництві* / С. О. Апостолюк, В. С. Джигирей, А. С. Апостолюк, Ю. В. Книш, І. А. Соколовський, В. І. Рудик. К.: Основа, 2003. – 288 с. 3. *Апостолюк С. О. Охорона праці в целюлозно-паперовій промисловості* / С. О. Апостолюк, В. С. Джигирей, Г. В. Сомар, Ю. Р. Дадак, І. А. Соколовський, З. В. Юринець. – К.: Основа, 2007. – 618 с. 4. *Катренко Л. А. Охорона праці: Курс лекцій. Практикум* / Л. А. Катренко, Ю. В. Кім, І. П. Пістун. Суми: Університетська книга, 2009. – 540 с. 5. *Гогіташвілі Г. Г. Основи охорони праці* / Г. Г. Гогіташвілі, В. М. Лапін, Р. А. Яцюк, В. М. Сторожук, О. В. Мельников. – К.: Знання, 2016. – 311 с. 6. *ДСН 3.3.6.037-99 “Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”*. – [Чинний з 01.12.1999]. – К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 34 с – (Національний стандарт України).