

**ВІБРАЦІЙНЕ ТА ВІБРОУДАРНЕ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ МЕХАНІЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ****ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ МАШИН****Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Є. О. Кобилянський**

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, Україна, 21021. E-mail: ivanchuck@ukr.net

Зростаючі вимоги до надійності приладів, механізмів і машин зумовлює необхідність застосування до них механічних випробувань, результати яких значно підвищує ефективність їх проектування і подальшої експлуатації. У статті наведено результати аналізу видів, способів і умов механічних випробувань деталей і вузлів машин, на основі вібраційних і віброударних навантажень. Визначено, що найбільш наближеним до реальних умов є використання стохастичних навантажень, які досить точно відображають реальні умови експлуатації. Проте, через велику трудомісткість і значні витрати, на виготовлення спеціального випробувального обладнання для їх реалізації, альтернативним є використання навантажень на випробувальні об'єкти ударів складної (комплексної) форми. Для використання ударних навантажень складної (комплексної) форми на оригінальному стендовому обладнанні визначені найбільш ефективні режими механічних випробувань, а також рекомендації з їх проведення, які реалізують різні умови експлуатації деталей і вузлів машин.

**Ключові слова:** механічні випробування, вібрації, удар, стохастичні процеси, навантаження, міцність, працездатність, віброударні навантаження.

**ВИБРАЦИОННЫЕ И ВИБРОУДАРНЫЕ НАГРУЗКИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ****ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН****Р. Д. Искович-Лотоцкий, Я. В. Иванчук, Е. А. Кобылянский**

Винницкий национальный технический университет

ул. Хмельницкое шоссе 95, г. Винница, Украина, 21021. E-mail: ivanchuck@ukr.net

Растущие требования к надежности приборов, механизмов и машин вызывает необходимость применения к ним механических испытаний, результаты которых значительно повышает эффективность их проектирования и последующей эксплуатации. В статье приведены результаты анализа видов, способов и условий механических испытаний деталей и узлов машин, на основе вибрационных и виброударных нагрузок. Определено, что наиболее приближенным к реальным условиям является использование стохастических нагрузок, которые достаточно точно отражают реальные условия эксплуатации. Однако, из-за большой трудоемкости и значительных затрат, на изготовление специального испытательного оборудования для их реализации, альтернативным является использование нагрузок на испытательные объекты ударов сложной (комплексной) формы. Для использования ударных нагрузок сложной (комплексной) формы на оригинальном стендовом оборудовании определены наиболее эффективные режимы механических испытаний, а также рекомендации по их проведению, которые реализуют различные условия эксплуатации деталей и узлов машин.

**Ключевые слова:** механические испытания, вибрации, удар, стохастические процессы, нагрузка, прочность, работоспособность, виброударные нагрузки.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Зростаючі вимоги до надійності приладів, механізмів і машин зумовлює необхідність застосування до них механічних випробувань, результати яких значно підвищує ефективність їх проектування і подальшої експлуатації [1-3]. Для проведення механічних випробувань деталей і вузлів машин, імітації реальних і граничних умов їх експлуатації необхідним є використання корисних вібраційних і віброударних навантажень [1]. Метою роботи є формування, на основі результатів теоретичних й експериментальних досліджень експлуатації деталей і вузлів машин, науково-обґрунтованого способу і виду механічного випробування за допомогою вібраційного і віброударного навантаження.

**МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Випробувані об'єкти (ВО) містять велику кількість конструктивних елементів різного призначення та складності, які по-різному сприймають навантаження від механічних вібрацій (у тому числі ударних, випадкових й інших періодичних навантажень) при зміні умов експлуатації. Отже, ці умови потрібно враховувати при розробці методики випробувань відповідного спеціального обладнання.

Дослідження несправних ВО (приладів, вузлів, з'єднань) дає можливість виявити дві основні причини втрати їх надійності: втомне руйнування конструктивних елементів, ослаблення затискачів і різьбових з'єднань. За результатами оцінки умов експлуатації та вивчення особливостей різних ушкоджень визначаються методи та умови випробувань, які можуть бути реалізовані на випробувальних установках [4].

Всю сукупність конструктивних елементів того або іншого ВО, з метою вивчення їх реакції на вібраційні та віброударні навантаження, можна представити у вигляді простої лінійної системи мас, пружин і демпферів, приклад якої показаний на рисунку 1. Така багатомасова система характеризується наведеними коефіцієнтами жорсткості  $c_n$  та демпфування  $\beta_n$ , які визначаються відповідними параметрами взаємодії їх конструктивних елементів при відомій масі  $m_i$  кожного з них. Ця система розташована на загальній робочій основі (вібростолі), яка здійснює коливання по заданому закону. У разі збігу власних частот коливань елементів системи  $f_{0i}$  із частотою зовнішнього періодичного навантажен-

ня  $f_0$  виникає явище резонансу [5], в результаті чого забезпечується інтенсифікація технологічного процесу випробувань [5, 6].

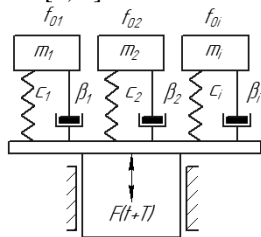


Рисунок 1 – Розрахункова схема багатомасового ВО

Імітація впливу механічних навантажень при вібраційних або віброударних навантаженнях ВО можлива при використанні різних способів навантаження:

- синусоїдального із фіксованою частотою (даний спосіб не придатний при необхідності проведення випробувань об'єктів, елементи яких мають різні частоти резонансу, оскільки при його застосуванні забезпечується резонанс тільки одного або декількох елементів);

- синусоїдального із частотою, яка повільно змінюється в діапазоні між двома граничними значеннями, при цьому всі конструктивні елементи та деталі, які піддаються вібраціям, поступово приводяться в стан резонансу;

- широкосмугового стохастичного (випадкових вібрацій), які як найближче відтворюють реальні умови експлуатації (недоліком даного способу є труднощі з його реалізацією);

- вузькосмугового стохастичного з амплітудою, яка змінюється за випадковим законом, при цьому в багатомасовій системі ВО в стан резонансу може бути приведена тільки певна деталь або один конструктивний елемент;

- вузькосмугового стохастичного, середня частота якого повільно коливається між двома фіксованими частотами та дозволяє відтворити майже всі види навантажень, які зустрічаються на практиці;

- періодичного ударного або імпульсного.

У кожному зі зазначених способів зовнішнє періодичне навантаження на лінійну систему ВО викликає зміну прискорень елементів його конструкції за синусоїдальним законом [7]. Результати досліджень підтвердили [8], що прискорення  $i$ -ої маси  $a_{m,i}$  пропорційне механічному напруженню у відповідному пружному елементі. Таким чином, величину  $a_{m,i}$  можна розглядати, як основний параметр навантаження, а прискорення  $a_0$ , що викликає це навантаження – як параметр зовнішнього силового впливу. Відношення прискорень  $a_{m,i}/a_0=A$  визначає передаточний коефіцієнт системи ВО.

На рисунку 2 наведені графіки, які характеризують зміни параметрів навантажень на ВО, а також їхню реакцію на них. Сам ВО представлений у вигляді лінійної пружної системи, який піддається впливу зовнішнього синусоїдального навантаження з фіксованою частотою. Найбільші напруження у ВО виникають при збігу його власної частоти  $f_{0i}$  із фіксованою частотою синусоїдального навантаження  $f_0$ . Відповідно зовнішнє ударне або імпульсне

навантаження на ВО  $a_0(t)$  характеризується тривалістю  $\tau$ , що мало відрізняється від нуля.

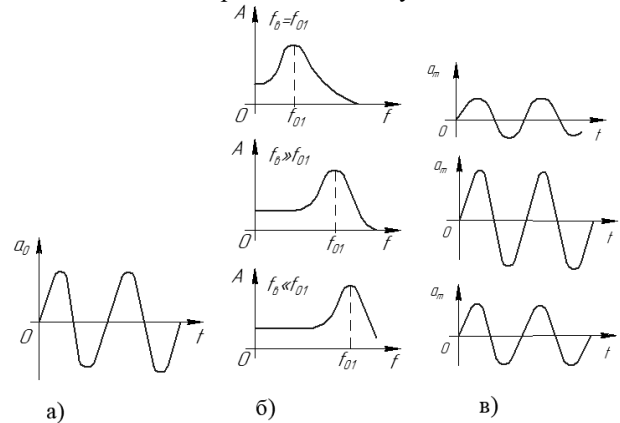


Рисунок 2 – Характер впливу на ВО зовнішнього синусоїдального навантаження з фіксованою частотою: а) зовнішній вплив; б) залежність передаточного коефіцієнта від частоти зовнішнього навантаження; в) реакція системи

Реакція на таке ударне або імпульсне зовнішнє навантаження  $a_0(t)$  визначається залежністю  $a_{m,i}(t)$ , яка показана на рисунку 3, може бути розділена на інтервали: ( $T < \tau$  – поточна реакція на удар і  $t > \tau$  – ударна післядія).

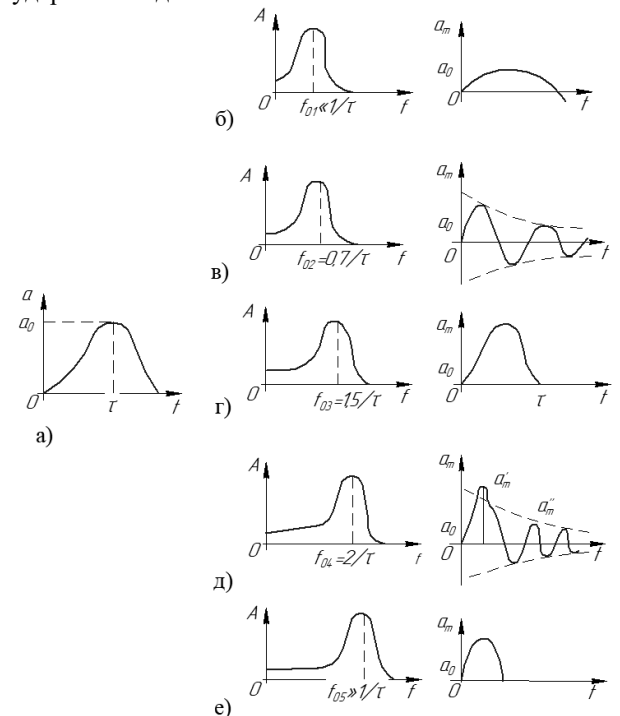


Рисунок 3 – Реакція системи ВО на ударне зовнішнє навантаження: а) зовнішній вплив; б-е) залежність передаточного коефіцієнта від частоти зовнішнього навантаження (зліва) та реакція системи (праворуч)  $a_0(t)=a_0\sin(\pi t/\tau)$ ;  $0 < t < \tau$

При дуже низьких частотах  $f_0 \ll 1/\tau$  (рис. 3, б) реакція системи на удар має вигляд синусоїдальних коливань. Для частот  $f_0$ , які можна порівняти з  $2/\tau$  (рис. 3, д), поточна реакція системи має перше пікове значення  $a'_{m,i}$  та післядїю з першим піковим значенням  $a''_{m,i}$ . Для дуже високих частот  $f_0 \gg 1/\tau$  (рис. 3, е) прискорення маси  $a_{m,i}(t)$  квазіста-

тично повторює навантаження  $a_0(t)$  [1, 4].

Для визначення кількісних параметрів втомних руйнувань, які виникають у ВО, необхідно визначити їх залежність від числа впливів, що мають задані амплітудні значення пікових навантажень, і які характеризуються прискореннями  $a_{m,i}$ , а також від критерію втомних руйнувань в елементах конструкції ВО. Отримані теоретичні залежності [3, 5] підтверджені експериментально. За ними можна розраховувати термін служби елементів системи ВО, яка піддається різним зовнішнім періодичним силовим навантаженням.

Механічні випробування за функціональним призначенням поділяються на випробування на міцність, під час яких за певних умов експлуатації оцінюється опір конструктивних елементів ВО руйнуванням, та працездатність, в процесі яких визначається здатність ВО нормально функціонувати в заданих умовах експлуатації. Зазвичай тривалість випробувань працездатності ВО менше, ніж тривалість випробувань міцності. У зв'язку з тим, що безпосередньою причиною виникнення пошкоджень і виходу з ладу ВО є прискорення, що впливають на його конструктивні елементи, на практиці для випробувань працездатності та міцності, зазвичай, використовують однакові методи та випробувальні установки.

Випробування на міцність проводяться вибірково та призначені для визначення у ВО слабких місць, які виникають у результаті пошкодження елементів конструкції або втоми матеріалу. Для зменшення часу проведення випробувань і досягнення їх найбільшої відповідності умовам експлуатації застосовують так званий коефіцієнт жорсткості [1, 2, 5].

Мінімальна тривалість випробувань або оптимальне число ударів зазвичай визначаються шляхом теоретичного аналізу розрахункової моделі або проведенням відповідних експериментів [9]. Вважається, що ВО витримає випробування, якщо після їх закінчення візуально не виявляються механічні пошкодження або зміни. Випробування працездатності може бути як вибірковою, так і загальною. Результати випробувань вважаються успішними, якщо ВО при зовнішньому силовому навантаженні працює бездоганно, у відповідності з технічними паспортними даними. Технологічні випробування проводяться в процесі виготовлення виробів. Їхньою метою є виявлення технологічних причин передчасного виходу з ладу виробу або виникнення механічних дефектів у різьбових з'єднаннях та в місцях холодної пайки. При технологічних випробуваннях успішно застосовують навантаження з малим числом ударів і з невеликими прискореннями.

Методика проведення випробувань розробляється на основі вихідних вимог до працездатності випробуваної системи (встановлення відповідності основних робочих параметрів ВО паспортним даним) або міцності її елементів, з аналізом можливості реалізації способів випробувань на наявному випробувальному обладнанні та оцінкою його ефективності. Випробування на працездатність і міцність

полягають у визначенні ряду параметрів ВО при впливі зовнішніх механічних навантажень, що забезпечують реальні умови експлуатації системи. Подібним дослідженням піддаються радіо- та електротехнічні прилади, машини та установки, вузли та деталі машин, які виходять з ладу внаслідок динамічного та втомного руйнування, а також ослаблення затискачів і різьбових з'єднань.

Вибір способу випробувань визначається обсягом і вмістом даних про ВО, умови його експлуатації, а також наявністю випробувального обладнання. Найбільш поширеними є два способи проведення механічних випробувань:

– на спеціальному випробувальному обладнанні, зокрема, при створенні примусових механічних коливань (вібрацій) ВО за синусоїдальним законом з фіксованою частотою;

– на звичайних вантажних транспортних засобах при створенні механічних коливань ВО по закону, який визначається рельєфом дороги та швидкістю транспортного засобу.

Проте зазначені способи проведення механічних випробувань не завжди забезпечують вичерпну інформацію про параметри ВО, а, крім того, вони є неекономічними та тривалими в реалізації. Зовнішні навантаження можуть бути класифіковані за наступним: ударне навантаження, синусоїдальна та стохастична вібрація. Дані зовнішні впливи класифіковані наступним чином.

Ударне навантаження: окремими ударами; серією ударів, із заданою зміною ударного імпульсу; віброударами.

Синусоїдальна вібрація: з фіксованою частотою; із частотою, яка поступово змінюється; із частотою, яка плавно змінюється; постійної тривалості; з постійним числом циклів.

Стохастична вібрація: із фіксованими частотами; з широкосмуговим або вузькосмуговим шумом; із частотою, яка плавно змінюється, із вузькосмуговим шумом, який плавно змінюється; із багаторазовим вузькосмуговим шумом.

Ефективність застосування зовнішніх впливів певного типу оцінюється за допомогою вихідної спрощеної лінійної моделі (див. рис. 1), на якій вказуються конструктивні елементи із різними резонансними частотами від 10 до 100 Гц [1].

Розглянемо характерні типи зовнішніх впливів. При зовнішньому впливі на ВО синусоїдальної вібрації з фіксованою частотою протягом проміжку часу випробувань  $t_i$  зусилля навантаження визначається віброприскоренням із амплітудним значенням  $\bar{a}_0$  і частотою зовнішнього впливу  $f_e$ . Збіг власної частоти  $f_{0i}$  певного конструктивного елемента  $m_i$  із частотою зовнішнього навантаження  $f_e$  відповідає резонансному навантаженню з прискоренням  $a_p$ , що значно перевищує  $\bar{a}_0$ . Такий спосіб зовнішнього впливу на ВО доцільно використовувати при відомих частотах  $f_e$ , які виникають в умовах реальної експлуатації або транспортування.

Застосування зовнішнього навантаження з частотою, яка східчасто змінюється, рекомендуються при випробуваннях певними резонансними частотами

конструктивних елементів ВО. При цьому важливо правильно встановити послідовність ступеневої зміни частот зовнішнього навантаження. Перевага даного способу випробувань полягає в тому, що вони проводяться тільки на тих частотах, при яких на конструктивні елементи ВО впливає найбільше навантаження. Недоліком даного способу є труднощі з визначенням резонансних частот для кожного елемента ВО. Таким чином, доцільним є плавна зміна частоти навантаження у певному діапазоні, в результаті якої кожен конструктивний елемент ВО, який має розрахункову жорсткість, рано чи пізно опиниться в режимі резонансу.

Випробування окремими ударами потрібно проводити через значні проміжки часу, щоб до моменту початку впливу кожного наступного удару амплітуди коливань всіх конструктивних елементів ВО зменшувалися б до певної величини. Останнє досягається вибором і реалізацією відповідного закону зміни ударного імпульсу. Основою для визначення умов випробувань можуть служити залежності ударного прискорення від часу та ударного спектру.

Останнім часом в промисловості набув застосування спосіб випробування навантаженням на ВО ударами складної (комплексної) форми. Даний спосіб є прогресивним, але він не застосовується належним чином через великі витрати на виготовлення випробувальних установок, здатних досить точно відтворювати необхідну форму складних ударних імпульсів. Способи випробувань при створенні випадкових стохастичних впливів точно відображають реальні умови експлуатації. Проте, широкого поширення дані способи також не набули через велику трудомісткість і значні витрати на виготовлення спеціального випробувального обладнання для їх реалізації.

Для визначення робочих параметрів випробувань при обраному способі їх проведення, потрібно мати дані про жорсткість і тривалість досліджень, а також про специфічні параметри та характеристики зовнішнього навантаження. Жорсткість випробувань знаходиться у прямій залежності від заданого значення прискорення [10, 11]. Зокрема, для випадку ударного навантаження визначальним параметром є максимальне ударне прискорення. Тривалість випробувань залежить від способу реалізації зовнішнього впливу, виду механічної моделі ВО та реальних умов експлуатації [12].

Специфічні параметри зовнішнього навантаження визначаються, в основному, механічної моделлю ВО, умовами експлуатації та технічними можливостями засобів випробувань. Випробуванням вібраційними навантаженнями піддаються прилади, пристрої та з'єднання, які за умовами експлуатації повинні зберігати працездатність і мати відповідні характеристики міцності при дії на них імпульсних навантажень. Випробування за допомогою серії ударних впливів рекомендується проводити для відтворення навантажень, що виникають при часто повторюваних, в процесах експлуатації та транспортування ВО, поштовхах і струшуваннях. Для проведення випробувань ударними навантаженнями ре-

комендується застосовувати напівсинусоїдальні удари [1, 2–6].

У роботі [1] наведені рекомендовані режими випробувань за допомогою ударних навантажень. Ударні впливи відтворюють режим епізодичного імпульсного навантаження ВО при експлуатації або транспортуванні. Крім напівсинусоїдальних імпульсів, як зовнішнього впливу при випробуваннях, можна використовувати трикутні та трапецеїдальні ударні імпульси [2]. В роботі [3] наведені рекомендовані значення відносних ( $a_0/g$ ) пікових прискорень і тривалості дії удару ( $\tau$ ) на ВО, в залежності від необхідного режиму випробувань.

Вищезазначені способи та умови випробувань можна реалізувати на малогабаритних вібраційних стендах з гідроімпульсним приводом (ГІП) (рис. 4–5).

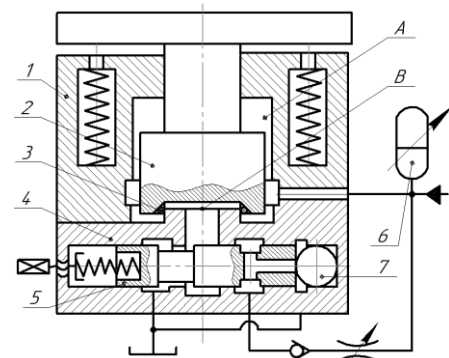


Рисунок 4 – Малогабаритний вібростенд на основі гідроімпульсного привода

Вібростенд [3], який зображений на рисунку 4, призначений для створення на диференціальному плунжері 2 вібростола короточасних періодичних навантажень (в моменти розрядки одноциклового гідроакумулятора 6 в порожнину виконавчого гідроциліндра (основи) 1, що спричиняє виникнення значних миттєвих навантажень). Завдяки можливості реалізації таких вібраційних і віброударних навантажень, імпульсний вібростенд можна рекомендувати для застосування у складі випробувальних машин. Керування ГІП вібростенда здійснюється вбудованим золотником 5, який взаємодіє з кулькою 7. При досягненні в гідросистемі розрахункового тиску золотник 5, що налаштовується на відкриття при певному заданому тискові, переміщується вліво та відкриває доступ робочої рідини з напірної гідролінії в порожнину B, відокремлюючи її одночасно від зливу. При цьому порушується умова стійкої посадки диференціального плунжера 2 на кільце 3, яке герметизує порожнини A і B. На плунжер 2 починає діяти спрямована вгору сила, відповідно до імпульсного збільшення робочого навантаження на ВО. При зворотних ходах вібростола під дією сил тяжіння та пружності елементів пружного повернення, в моменти зіткнення вібростола й основи, генеруються ударні навантаження.

Вібростенд [2], який зображений на рисунку 5, має порівняно простий вузол керування приводом вібрації і незначні габаритні розміри за рахунок виконання виконавчого елемента у вигляді рухомого плунжера 4 з осью розточкою, до якого під

впливом перепаду тисків між порожнинами  $A$  і  $C$  притиснутий кульковий запірний елемент 2. Розрахунковий зазор  $\Delta$ , що визначає необхідний перепад тисків, встановлюється за допомогою рухомого поршня 1, який під впливом регулювального гвинта переміщується в розточці циліндра 3. При підвищенні тиску в порожнині  $A$  плунжер 4 переміщується вгору, а кульковий запірний елемент 2 відривається від сідла на плунжері 4, що викликає падіння тиску в порожнині  $A$  та повернення робочого столу вібростенда в початкове положення. Коли між кульковим запірним елементом 2, що сідає на поршень 1, і кромками сідла на плунжері 4 встановиться зазор відповідний вихідному зазору  $\Delta$ , між порожнинами  $A$  і  $C$  встановлюється необхідний перепад тисків, при якому кульковий запірний елемент 2 буде притиснутий до сідла.

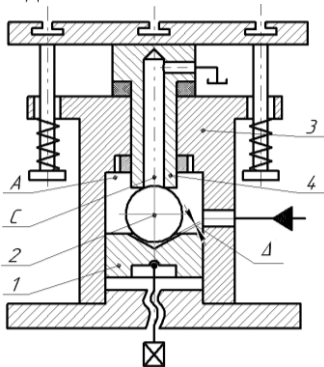


Рисунок 5 – Малогабаритний вібростенд на основі ГПП з кульковим запірним елементом

На запропонованому обладнанні можна досить точно імітувати реальні умови експлуатації. Для правильного вирішення поставленої задачі здійснюється попередній аналіз навантажень, які можуть впливати на ВО в реальних умовах роботи. Зокрема, при навантаженні та розвантаженні виробів на автомобілях виникають стохастичні (випадкові) впливи при цьому в основному переважають одиночні удари. Для цього безпосередньо на робочому місці створюються стаціонарні умови експлуатації, які характеризують дані умови навантажень. Після аналізу умов експлуатації вирішується ряд важливих задач: проводиться оцінка впливів на ВО, які викликають ушкодження, в залежності від різних умов експлуатації; вибираються умови випробувань, відповідні заданим умовам експлуатації; здійснюється визначення допустимих умов експлуатації [6].

**ВИСНОВКИ.** За результатами аналізу видів, способів і умов вібраційних і віброударних навантажень деталей і вузлів машин визначено, що найбільш ефективним є випробування впливом на випробувальні об'єкти ударами складної (комплексної) форми. Даний спосіб є прогресивним, але він не завжди застосовується належним чином через великі витрати на виготовлення випробувальних установок, здатних досить точно відтворювати необхідну форму складних ударних імпульсів. Способи випробувань при створенні випадкових стохастичних навантажень досить точно відображають реальні умови експлуатації. Проте, великого поширення ці способи не набули через велику трудомісткість і

значні витрати на виготовлення спеціального випробувального обладнання для їх реалізації.

Для реалізації випробувань рекомендованими способами можна реалізувати у виробничих умовах з великим ступенем достовірності на ефективних малогабаритних вібраційних стендах з гідроімпульсним приводом.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Іскович–Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В., Іванчук Я. В., Любин В. С. Визначення робочих параметрів гідроімпульсного вібропреса для поточкового віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2012. Вип. 4 (38). С. 57–65.
2. Іскович–Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів : *монографія*. Вінниця : ВНТУ, 2012. 155 с.
3. Іскович–Лотоцький Р. Д., Зелінська О. В., Іванчук Я. В. Технологія моделювання оцінки параметрів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом : *монографія*. Вінниця : ВНТУ, 2018. 152 с.
4. Іскович–Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В. Аналіз використання гідроімпульсних віборозвантажувальних пристроїв на автомобільному транспорті. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2011. Вип. 6. С. 228–231.
5. Маслов А. Г., Жанар Батсайхан. Определение рациональных параметров виброударного рабочего органа для уплотнения бетонных смесей. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві*. 2015. Вип. 4 (93). С. 58–64.
6. Подкопаев С. В., Йорданов И. В., Чепига Д. А. К вопросу о соударении твердых тел при внезапном обрушении боковых пород в горную выработку. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві*. 2017. Вип. 2 (103). С. 74–81.
7. Іскович–Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Веселовський Я. П. Основи резонансно–структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2014. Вип. 5 (53). С. 109–118. DOI: 10.15802/stp2014/30458.
9. Iskovych–Lototsky R. D., Zelinska O. V., Ivanchuk Y. V., Veselovska N. R. Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*. 2017. Vol. 1 (85). P. 9–17. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
10. Deli, W., Wei, X., Xudong, G., Haiqing, P., Deli, W. Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise

excitations. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 2016. Vol. 86. P. 55–65. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2016.08.001.

11. Jörg, C., Mont, K., Pornsak, S. Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations.

*Chemical Engineering Research and Design*. 2010. Vol. 88 (1). P. 100–108. DOI: 10.1016/j.cherd.2009.07.001.

12. Fekri, A., Buerhan, S., Muslim, H., Hafiz M. Does intense monitoring matter? A quantile regression approach. *Borsa Istanbul Review*. 2017. Vol. 17 (2). P. 75–85. DOI: 10.1016/j.bir.2017.02.004.

## VIBRATION AND VIBRO-IMPACT POWER LOAD IN MECHANICAL TESTS OF PARTS AND UNITS OF MACHINES

**R. Iskovych-Lototskyi, Y. Ivanchuk, E. Kobylanskyi**

Vinnitsia National Technical University

95 Khmelnytske shose str., Vinnitsia, Ukraine, 21021. E-mail: ivanchuck@ukr.net

**Purpose.** Based on the results of theoretical and experimental studies of the operation of parts and components of machines, a scientifically grounded method and type of mechanical testing with the help of vibrating and vibro-impact loading is formed. **Methodology.** The changes in the parameters of vibration and vibro-impact loads on test objects and their reaction are characterized. The effectiveness of applying external influences of a certain type is estimated using the initial simplified linear model, in which structural elements with different resonant frequencies are indicated. The types and methods of testing are analyzed on the basis of the initial requirements for the operability of the system under test or the strength of its elements, with an analysis of the feasibility of testing methods on existing test equipment and evaluating their effectiveness. The conditions for the mechanical testing of parts and machine components based on the volume and content of data on the test facility, the conditions of its operation, and the availability of test equipment are justified. **Findings.** The closest to real conditions is the use of stochastic power loads, which accurately reflect the actual operating conditions. However, because of the great laboriousness and significant costs for the manufacture of special test equipment for their implementation, the alternative is to use the power load to test objects of complex (complex) impacts. **Originality.** To use shock loads of complex (complex) forms on the original bench equipment, the most effective modes of mechanical testing are determined. **Practical value.** Recommendations are developed for the implementation of mechanical testing modes, which realize various operating conditions for parts and components of machines. **Conclusions.** Realization of mechanical tests close to real conditions with a high degree of reliability is realized in production conditions on efficient small-sized vibration stands with a hydroimpulse drive. References 12, figures 5.

**Key words:** mechanical tests, vibrations, impact, stochastic processes, load, strength, performance, vibro-impact loads.

1. Iskovych–Lototskyi, R.D., Sevostianov I.V., Ivanchuk, Ya.V., Liubyn, V.S. (2012), Vyznachennia robochykh parametriv hidroimpulsnoho vibropresa dlia potokovoho vibro-udarnoho znevodnennia volohykh dispersnykh materialiv. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*. No. 4 (38). pp. 57–65.

2. Iskovych–Lototskyi, R.D., Ivanchuk, Ya.V. (2012), *Vibratsiini ta vibroudarni prystroi dlia rozvantazhennia transportnykh zasobiv*. Monohrafiia. Vinnitsia, Ukraine.

3. Iskovych–Lototskyi, R.D., Zelinska O.V., Ivanchuk, Ya.V. (2018), *Tekhnolohiia modeliuvannia otsinky parametriv formoutvorennia zahotovok z poroshkovykh materialiv na vibropresovomu obladnanni z hidroimpulsnym pryvodom*. Monohrafiia. Vinnitsia, Ukraine.

4. Iskovych–Lototskyi, R.D., Ivanchuk, Ya.V. (2011), Analiz vykorystannia hidroimpulsnykh vibrorozvantazhuvalnykh prystroiv na avtomobilnomu transporti. *Visnyk Vinnitskoho politekhnichnoho instytutu*. No. 6, pp. 228–231.

5. Maslov, A., Batsaikhan, Z. (2015), Opreделение ratsionalnykh parametrov vibroudarnogo rabocheho organa dlya uplotneniya betonnykh smesey. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni, transporti ta hirnyctvi*. No. 4(93). pp. 58–64.

6. Podkopaev, S.V., Iordanov, I.V., Chepiga D.A. (2017), K voprosu o soudarenii tverdyykh tel pri vnezapnom obrushenii bokovykh porod v gornuyu vyirabotku. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Suchasni tekhnolohii v*

*mashynobuduvanni, transporti ta hirnyctvi*. No. 2 (103), pp. 74 – 81.

7. Iskovych–Lototskyi, R.D., Ivanchuk, Ya.V., Veselovskiy, Ya.P. (2014), Osnovy rezonansno–strukturnoi teorii vibroudarnoho rozvantazhennia transportnykh zasobiv. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana*. No. 5(53), pp. 109–118. DOI: 10.15802/stp2014/30458.

9. Iskovych–Lototskyi, R.D., Zelinska, O.V., Ivanchuk Y.V., Veselovska, N.R. (2017), Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*. No. 1 (85). pp. 9–17. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.59418.

10. Deli, W., Wei, X., Xudong, G., Haiqing, P. (2016), Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. No. 86. pp. 55–65. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2016.08.001.

11. Jörg, C., Mont, K., Pornsak, S. (2010), Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *Chemical Engineering Research and Design*. No. 88 (1). pp. 100–108. DOI: 10.1016/j.cherd.2009.07.001.

12. Fekri, A., Buerhan, S., Muslim, H., Hafiz, M. (2017) Does intense monitoring matter? A quantile regression approach. *Borsa Istanbul Review*. No. 17(2). – pp. 75–85. – doi: 10.1016/j.bir.2017.02.004.