

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ УСТАНОВОК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БУРІННЯ

І. Я. Захара*, А. М. Труханівський

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;

e-mail: texnikigor83@gmail.com, andriy.truhanivskiy@peugeot.if.ua

Важко уявити сьогодні без механізації технологічних процесів у життєвому циклі людства. На перший і вагомий щабель виноситься комфорт як виробничих процесів, так і навколишнього середовища. Тому покращення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування та зниження впливу негативних явищ від використання відповідного обладнання є основним завданням, яке слід вирішувати на етапі проєктування машин та механізмів. Мінімізація вібрації, що утворюється внаслідок роботи інструменту на трансмісію й інші механізми машин, є головним пріоритетом, які висуваються до установок горизонтального направлено буріння. Одним із шляхів зниження негативного впливу вібрації на елементи трансмісії установок горизонтального буріння – це на етапі проєктування слід проводити вібраційні випробування. Головною проблемою сьогоднішніх великих міст та містечок є зношені на 90-100% комунікації: холодне та гаряче водопостачання, каналізація, газопостачання та електропостачання - це далеко не весь перелік об'єктів комунального господарства, що знаходиться під землею. Ремонт існуючих, та спорудження нових систем комунікації та зв'язку вимагає значних капіталовкладень. Одним з перспективних методів прокладання комунікаційних споруд у межах міста є метод направлено горизонтального буріння. Даний метод належить до закритого способу прокладання. Безтраншейне буріння економічно вигідніше, ніж традиційні методи, що пояснюється економією коштів, витрачених на відновлення розкритих доріг, облаштування траншей. Такий метод також скорочує час, витрачений на роботу, кількість задіяного персоналу, а також значно підвищує рівень безпеки робіт. Разом з цим, всі ці роботи пов'язані з порушенням звичайного життя міста – викопування котлованів і траншей для заміни або нового будівництва, заборона руху автомобілів та зняття покриття автодоріг, створення об'їздів навколо нових будівель призводять до зростання вартості проведених робіт.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), трансмісія, установка горизонтального направлено буріння (ГНБ), робочий орган, вібрація, віброактивність.

The mechanisation of technological processes has become an integral part of the human life cycle. The comfort of both production processes and the surrounding environment is placed on the first and important level. That is why the main task to be solved at the stage of designing machines and mechanisms is to improve the operating characteristics of technological equipment and to reduce the impact of negative phenomena caused by the use of such equipment. The minimisation of vibrations generated by the operation of the tool on the transmission and other mechanisms of the machines is the main priority, which is advanced to the installations of horizontal directional drilling. One of the ways to reduce the negative effects of vibration on the transmission elements of horizontal drilling rigs is to carry out vibration tests at the design stage. The main problem of today's large cities and towns is 90-100% worn out communications: cold and hot water supply, sewerage, gas and electricity supply are far from the entire list of utilities located underground. Repairing existing communications and building new ones requires significant investment. One of the most promising methods of laying communication structures within the city limits is the method of horizontal directional drilling. This is a closed-loop installation method. Trenchless drilling is economically more profitable than traditional methods, which can be explained by the fact that it saves the money spent on restoring open roads and digging trenches. This method also reduces the time spent on the work, the number of people involved and significantly increases the level of safety. At the same time, all of this work involves disruption to the normal life of the city - digging pits and trenches for replacement or new construction, banning cars and removing the surface of highways, creating detours around new buildings all add to the cost of the work.

Key words: internal combustion engine (ICE), transmission, horizontal directional drilling (HDB), working body, vibration, vibroactivity.

Вступ

Відкритий спосіб спорудження комунікацій на урбанізованих територіях пов'язаний з кількома проблемами - великі фінансові витрати на виправлення зруйнованого рельєфу, пере-

криття доріг або магістралей, відновлення ландшафту зелених насаджень. Зокрема, при глибині прокладання комунікацій більше 1,5 м навіть прямі витрати стають дуже суттєвими і різко збільшуються при подальшому збільшен-

ні глибини прокладання. Використання ж даного способу при переході водних об'єктів чи дамб загалом неможливе.

Більш перспективним способом в межах міста є закритий спосіб або безтраншейне буріння. Безтраншейні технології буріння дозволяють будівництво під землею без розкриття ґрунту. Безтраншейне прокладання має на увазі те, що 90% всіх робіт виконуються під землею.

Такий метод суттєво знижує затрати, тривалість виконання робіт, кількість задіяного персоналу, а також значно підвищує рівень безпеки робіт.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

На сьогоднішній день існує два принципово різні підходи до вирішення проблеми заміни старих та спорудження нових підземних комунікацій – відкритий спосіб виконання робіт (траншея, котлован) і закритий спосіб [1, 2, 3]. Питання безтраншейних технологій гостро стоїть не лише в Україні, а й у всьому світі, про що свідчать роботи [4, 5, 6].

Дослідженню робочих процесів використання установок горизонтального направлено буріння та впливу вібрації на трансмісію установки присвячені праці таких вчених: Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В. К. Руднев, Anna Pridmore, Jim Geisbush, M. Najafi, В. Н. Супонев, В. И. Олексин та інших.

Про позитивний досвід віброізоляції різноманітних машин йдеться у багатьох роботах. Не применшуючи науковий внесок перелічених дослідників у покращання експлуатаційних властивостей бурової установки горизонтального буріння, нині не існує порівняльних досліджень впливу вібрації трансмісії бурової установки на точність і якість виконання бурових робіт. Це й визначає актуальність теми роботи.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Прагнення до підвищення продуктивності машин та швидкості виконання технологічних процесів, а саме: збільшення потужності та навантаження на робочому органі і зміна інших робочих характеристик, неминуче призводить до зміни динамічної навантаженості елементів установки для горизонтального буріння. У свою чергу, методи віброзахисту таких установок дуже різноманітні. Вибір методу захисту на сучасних установках горизонтального буріння для зниження негативного впливу не лише на елементи конструкції установки, але й на оператора, значною мірою, визначається характе-

ром джерела вібрації. У тих випадках, коли конструктивно неможливо вплинути на джерело вібрацій, застосовуються різноманітні технічні засоби, що знижують передачу вібрації і усувають її шкідливий вплив на досліджуваний об'єкт. Дослідження віброізоляції на багатьох машинах і механізмах успішно виконано та прийнято позитивні рішення щодо зниження негативного впливу даного явища.

Однак, дана проблематика не досліджувалась для бурових установок горизонтального буріння. Варто зауважити, що на сьогоднішній день немає порівняльних досліджень впливу вібрації на трансмісію бурової установки на точність і якість виконання бурових робіт, тому зазначена проблематика потребує всебічного розгляду і дослідження.

Мета і задачі дослідження

Мета роботи – дослідження експлуатаційних показників установок горизонтального буріння, що дозволить комплексно оцінити загальний вплив вібрації на машину як в цілому, так і на окремі її елементи.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Метод горизонтального направлено буріння (надалі ГНБ) належить до безтраншейного способу будівництва (прокладання трубопроводу в підземному просторі без порушення цілісності земної поверхні) або з мінімальним виконанням земляних робіт, коли, за необхідності, влаштовується лише стартовий та приймальний котловани.

Застосування методу ГНБ, на відміну від звичайних (відкритих) способів прокладання інженерних комунікацій, виключає необхідність перекриття проїжджої частини міських вулиць, автомагістралей, залізниць, переукладання наявних комунікацій, підсилення фундаментів будівель та споруд, надає можливість цілорічного виконання робіт. Загалом метод ГНБ забезпечує зниження вартості та прискорення темпів будівництва, надає змогу прокладати комунікації під водними та іншими перешкодами. Існуючі засоби механізації, що реалізують безтраншейні технології, умовно можна розділити за принципом передачі осьового зусилля на робочий орган при формуванні горизонтальної свердловини на дві великі групи: з примусовим заглибленням та самозахідні.

До технологій, для реалізації яких робочий орган примусово задавлюється в осьовому напрямку, віднесемо такі методи спорудження горизонтальних свердловин:

Таблиця 1 – Машини та установки для безтраншейного прокладання підземних комунікацій

Показники	Принципи формування горизонтальних свердловин							
	З примусовим заглибленням				Самозахідні			
	Горизонтально-спрямованим бурінням	Шнековим бурінням	Продавлюванням	Ущільненням статичним проколом	Ущільненням пневмо-, гідропробійниками	Розкочуванням	Ущільненням біонічно-синтезованим р.о.	Ущільненням гвинтовим р.о.
Діаметр труби, що прокладається, мм	до 350	до 350	до 300	до 250	до 200	до 350	до 100	до 250
Рекомендована довжина, м	від 100 до 400	до 40*	до 30*	до 20*	від 30 до 40	до 25*	до 15*	до 30*
Точність прокладання	Відхилення від проектної глибини ±5см	Відхилення від проектної точки виходу головки з вибою в частках одиниці довжини						
		0,015	0,015	0,05**	0,01**	0,05**	0,01	0,01
Темп проходки з укладанням труби, м/год	до 15	10 – 12	3	25	20	10 – 20	6	25
Доцільна область застосування	Спокійний рельєф, ґрунти без включень, болотисті ґрунти	У ґрунтах з вмістом гравію не більше 30% не рекомендовано для водонасич. ґрунтів	Легкі ґрунти I-II категорії, обводнені	ґрунти III категорії і з кам'янистими вмістом ями до 50мм	У ґрунтах з вмістом гравію не більше 30% не рекомендовано для водонасич. ґрунтів	Будь-які ґрунти без великих кам'янистих включень, найбільш ефективно використовувати у легенях ґрунтах I-III категорії		
Узагальнений показник Π_{NG}	1670÷2900	3200÷4600	2800÷6640	6,3÷12,1	63÷67	180÷320	–	–

- шнекове буріння;
- статичний прокол;
- статичний вібропрокол;
- протискування;
- горизонтально-спрямоване буріння.

До технологій, де застосовується самозахідний робочий орган, можна віднести такі технології проколу:

- гідро-, пневмопробійником;
- розкочувачем;
- біонічно-синтезованим робочим органом;
- гвинтовим робочим органом, що тягне.

Як бачимо, існує багато способів безтраншейного прокладання комунікацій, що конку-

рують між собою, тому під час будівництва комунікацій доводиться вирішувати складне завдання вибору і способів ведення робіт і засобів для реалізації поставленої задачі.

До таблиці 1 подані короткі відомості про характеристики машини та установки для безтраншейного прокладання підземних комунікацій.

Метод ГНБ досить простий і зрозумілий. Основні переваги даного методу ГНБ:

- можливість прокладання трубопроводу під існуючими дорогами, трамвайними і залізничними коліями без необхідності перекриття

та проведення ремонтних робіт з відновлення у подальшому;

- можливість будівництва трубопроводу під водоймами, зеленими зонами, у спеціальних ґрунтах, скельних породах тощо;

- можливість будівництва трубопроводу в умовах щільної житлової забудови та на територіях підприємств;

- мінімізація ризиків щодо пошкодження існуючих комунікацій;

- суттєве зменшення витрат на будівництво або реконструкцію трубопроводу порівняно з традиційними методами;

- значне скорочення термінів виконання робіт;

- підвищення рівня безпеки при виконанні робіт;

- відсутність необхідності виконання робіт щодо пониження рівня води в умовах високих ґрунтових вод;

- можливість проведення робіт протягом всього року, незалежно від погодних умов;

- зниження негативного впливу на навколишнє середовище;

- гарантована висока якість проведення робіт.

Опишемо реалізацію даного методу. У позначеній точці входу трубопроводу ставлять установку ГНБ (рис. 1). По заданій траєкторії бурять свердловину, з точністю виходячи по іншу сторону перешкоди. Залежно від потрібного діаметра свердловини для установки декількох труб або ж труб-футлярів, буріння і розширення свердловин у один або декілька етапів.

До початку виконання робіт має бути спланована і розрахована траєкторія буріння.

Основні моменти ГНБ:

- визначення довжини і глибини закладання свердловини;

- враховування підземних комунікацій і інших перешкод;

- отримання інформації про існуючі підземні об'єкти;

- отримання дозволів на проведення робіт і визначення джерел ризику.

Пілотне буріння – первинна проходка бурового інструменту по заданій, розрахованій траєкторії. При цьому в процесі спорудження пілотного стовбура подається промивальна рідина (буровий розчин) з чітко означеними властивостями. Задана траєкторія забезпечується застосуванням сучасної локаційної системи, яка ґрунтується на оперативній обробці інформації, що надходить у вигляді сигналу від випромінювача, розташованого в породоруйнівному інструменті.



Рисунок 1 – Етапи горизонтально-спрямованого буріння

Основним чинником, що обмежує застосування зазначеного способу, є гірничо-геологічні умови, зокрема: наявні нестійкі, уламкові породи; ґрунти з включенням валунів і гальки; ґрунти піщані, глинисті та із вмістом гравію більше 30%.

Заборонене прокладання трубопроводів у пливунах (за коефіцієнта плинності ґрунту $I_p > 1$) через неможливість створення стабільного бурового каналу).

Утруднене прокладання трубопроводів в пухких пісках (за коефіцієнта пористості $e > 0,7$) через складність створення міцних стінок бурового каналу.

Основними виробниками установок ГНБ є компанії Vermeer, Ditch Witch, RobbinsTractor-Technik, Straightline, American Augers, Case і ін [7, 8].

Класифікацію установок ГНБ за тяговими зусиллями і основними технічними характеристиками

Таблиця 2 – Класифікація установок ГНБ за тяговими зусиллями

Клас установки ГНБ	Тягове зусилля, тс/кН	Діаметр комунікацій, що прокладається, мм	Довжина комунікацій, що прокладається, м
Міні	До 12/117,72	від 32 до 315	до 300 до 150
Міді-1	12-25/117,72-245,25	від 32 до 500	до 400 до 1500
Міді-2	25-45/245,25-441,45	від 32 до 800	до 800 до 150
Максі -1	45-150/441,45-1471,5	від 32 до 1400	до 2500 залежно від діаметра трубопроводу
Максі -2	більше 150/1471,5	від 1400 до 2000	до 2500

тиками типових представників установок різних компаній-виробників, наведені в табл. 2.

До інших характеристик цих машин можна віднести:

- показники перетину каналу, який може виконати така машина;
- максимальна довжина каналу;
- показник витрати бетону (л/хв).

Використання методу горизонтального буріння враховує також максимально можливий радіус вигину бурових штанг. Цей показник вважається дуже важливим, оскільки впливає на рухливість бурової установки і на її можливість огинання різних перешкод.

Саме прагнення до підвищення продуктивності машин та швидкості роботи, форсування їх за потужностями, навантаженнями та іншими робочими характеристиками неминує призводять до зміни динамічної навантаженості як окремих її деталей, так і установки в цілому.

Для захисту елементів установки та оператора від впливу вібрацій використовують різноманітні методи віброзахисту. Джерела вібрації значною мірою впливають на вибір заходів для зниження віброактивності. У тих випадках, коли неможливо вплинути на джерело вібрацій, застосовуються різноманітні технічні засоби, що знижують передачу вібрації і усувають її шкідливий вплив на ГНБ.

До найбільш розповсюджених заходів щодо зниження віброактивності належать [9]:

- зниження віброактивності джерела - зменшення рівнів механічних впливів, що збуджуються джерелом;
- внутрішній віброзахист об'єкта – зміна конструкції об'єкта, при якому задані механічні дії викликатимуть менш інтенсивні коливання об'єкта або окремих його частин;
- віброізоляція – установка між об'єктом та джерелом додаткової системи, що захищає об'єкт від механічних впливів, що збуджуються джерелом;

– динамічне гасіння коливань – приєднання до об'єкта додаткової механічної системи, що змінює його коливання;

– активне гасіння коливань – використання додаткового джерела вібрації, що генерує коливання тієї ж амплітуди, але протилежної фази.

Колівання, що збуджуються джерелом, поділяються на дві групи. До першої відносять різні фізико-хімічні процеси, що відбуваються в джерелі: процеси горіння в реактивних двигунах і двигунах внутрішнього згорання [10,11], електромагнітні явища в двигунах та генераторах, різноманітні технологічні процеси (наприклад, процес різання металів [12] на металорізальних верстатах і т.п.). Зниження віброактивності факторів цієї групи пов'язане зі зміною параметрів фізико-хімічних процесів і може бути досягнуто специфічними способами для кожного окремого випадку [13]. До другої групи факторів відносять тіла, що рухаються.

Рух тіл усередині джерела (обертання кривошипно-шатунних механізмів ДВЗ, обертання роторів ЕД, переміщення ланок механізмів) супроводжується виникненням динамічних реакцій зв'язків, що з'єднують джерело з об'єктом. У цьому випадку зниження віброактивності джерела полягає в зменшенні динамічних реакцій шляхом врівноваження тіл, що рухаються.

Існує два способи зниження механічних коливань, що є загальними для всіх механічних систем. Перший спосіб полягає в усуненні резонансних явищ. Якщо об'єкт має лінійні властивості, то завдання зводиться до зміни його частот. Для нелінійних об'єктів мають виконуватися умови відсутності резонансних явищ, розглянутих у [14]. Другий спосіб полягає у збільшенні дисипації механічної енергії в об'єкті. Вивчення можливості застосування даного способу, дослідження демпфуючих властивостей елементів конструкції виробів розглянуто у роботах [15, 16].

Дія віброізоляції зводиться до послаблення зв'язків між джерелом та об'єктом, при цьому зменшуються динамічні дії, що передаються об'єкту.

Ослаблення зв'язків зазвичай супроводжується виникненням небажаних явищ:

збільшенням статичних зсувів об'єкта щодо джерела, збільшенням амплітуд відносних коливань, збільшенням габаритів системи.

Віброізоляція у ряді випадків є ефективним методом врівноваження [17]. Найпростіший приклад віброізоляції може полягати у встановленні віброактивного обладнання на пружних елементах.

Слід зазначити, що вище наведені методи зниження віброактивності машин знайшли своє широке застосування під час проектування транспортних систем різного призначення, зокрема колісних і гусеничних машин.

Зокрема, розроблені та використовуються різні методи врівноваження газових та інерційних сил у ДВЗ (зниження віброактивності джерела), використовуються різні демпфуючі пристрої, у тому числі й керовані в підвісках автомобілів, тракторів та ін. транспортних систем (зміна конструкції об'єкта), віброізоляція кузовів та кабін транспортних засобів. У трансмісіях автомобілів найбільшого поширення набули динамічні гасителі коливань, про що свідчать роботи багатьох відомих авторів [20].

Можливі і комбіновані способи динамічного гасіння, що використовують одночасно корекцію пружно-інерційних та дисипативних властивостей системи. Застосовувані у разі гасителі називають динамічними гасителями з тертям.

Висновки

Наведено аналіз технічних характеристик бурових установок горизонтального направлення, які можна буде використати в обмеженому просторі в умовах населених пунктів.

Подані основні джерела виникнення вібрацій та запропоновані заходи щодо зниження віброактивності елементів машин.

Використання активних елементів розширює можливості динамічного віброгасіння, оскільки дозволяє проводити безперервне підстроювання параметрів динамічного гасника функції діючих збурень і, отже, здійснювати гасіння в умовах мінливих вібраційних навантажень.

Література

1. Деркач І. Л. Міські інженерні мережі: Навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2006. 97 с.
2. Руднев В.К., Супоній В.Н., Сасенко Н.В. Грунтоупорна бурова установка статичної дії з кільцевими прокладками горизонтальних колодязів. *Журнал цивільного будівництва*. 2015. № 2. С. 100–107.
3. Мохаммед Наджафі. Безтраншейна технологія трубопроводів. Встановлення та перевірка. ASCE press, WEF Press Water Environment Federation Alexandria, Virginia, 2010. 482 с.
4. Najafi M. Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods: The complete guide to trenchless technology project management, planning, costs, and methods. McGraw-Hill, 2012. 608 p.
5. Anna Pridmore, Jim Geisbush. Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. *Pipelines 2017: Planning and Design (553 – 563)*. Book set: Pipelines 2017.
6. Полтавцев І.С. Спеціальні землеройні машини та механізми для міського будівництва. К.: Будівельник, 1977. 136 с.
7. Чжао Цзюнь Лін Бянь. Безтраншейна технологія підземних труб. Machinery Industry Press, 2014. 187 p.
8. HDD technology and methods of horizontal drilling rigs PERFORATOR. Germany, 2002. URL: <http://perforator.su/tekhnologiya.html>
9. Фролов К.В. Вібрації у техніці. У 6-ти томах. Захист від вібрацій та ударів (Том 6) / За заг. ред. академіка РАН К.В. Фролова. М: Машинобудування, 1995. 456 с., іл.
10. Мангушев, В.А. Основи теорії та конструкції двигунів внутрішнього згоряння. М.: Воєніздат, 1973. 422 с., іл.
11. Колчин, А.І. Розрахунок автомобільних та тракторних двигунів: навч. посіб. для вузів. 2-ге вид., перероб. та доп. М: Вищ. школа, 1980. 400 с., іл.
12. Ізмайлов Д.Ю. Віртуальна вимірювальна лабораторія PowerGraph. *Радіо щорічник*. 2013. № 22. С. 274 – 313.
13. Барський І.Б. Зчеплення транспортних та тягових машин / За ред. Ф.Р. Геккер. М.: Машинобудування, 1989. 344 с.: іл.
14. Коловський, М.З. Нелінійна теорія віброзахисних систем. М.: Наука, 1966. 318 с., іл.
15. Матвеев, В.В. Про демпфуючу здатність замкових з'єднань турбінних лопаток. У кн.: *Розсіювання енергії при коливаннях пружних систем*. К.: Наукова думка, 1972. С. 259-269.

16. Решетов, Д.М. Демпфування коливань у деталях верстатів. У кн.: *Дослідження коливань металорізальних верстатів*. М.: Машгіз, 1958. С. 17-24.

17. Рівін Є.І. Деякі питання віброізоляції верстатів. *Динаміка машин / За ред. І.І. Артоболевського*. М: Наука, 1969. С. 229-238.

18. Тольський В.Є. Експериментальне дослідження вібрації автомобілів під час роботи двигуна внутрішнього згорання (частина 1). *Праці НАМІ*. 2015. № 263. С. 5 – 24.

19. Geisberger A., Khajepour A., Golnaraghi F. Modelling of hydraulic mount з новим MDOF decoupler використовуючи bondgraphs. Department of Mechanical Engineering. University of Waterloo. Waterloo. Ontario. Canada X2L 3G1.

20. Молибощко Л.А. Динамічні розрахунки трансмісії транспортних машин: Навчальний посібник з курсу «Конструювання та розрахунок автомобілів». Мінськ: Вид-во БПІ, 1977. 69 с., іл.

References

1. Derkach I. L. Miski inzhenerni merezhi: Navch. posibnyk. Kharkiv: KhNAMH, 2006. 97 p.

2. Rudniev V.K., Suponii V.N., Saienko N.V. Gruntouporna burova ustanovka statychnoi dii з kiltsevymy prokladkamy horyzontalnykh kolodiaziv. *Zhurnal tsyvilnoho budivnytstva*. 2015. No 2. P. 100–107.

3. Mokhammed Nadzhafi. Beztransheina tekhnolohiia truboprovodiv. Vstanovlennia ta perevirka. ASCE press, WEF Press Water Environment Federation Alexandria, Virginia, 2010. 482 p.

4. Najafi M. Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods: The complete guide to trenchless technology project management, planning, costs, and methods. McGraw-Hill, 2012. 608 p.

5. Anna Pridmore, Jim Geisbush. Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. *Pipelines 2017: Planning and Design (553 – 563)*. Book set: Pipelines 2017.

6. Poltavtsev Y.S. Spetsialni zemleroini mashyny ta mekhanizmy dlia miskoho budivnytstva. K.: Budivelnyk, 1977. 136 p.

7. Chzhao Tszium Lin Bian Beztransheina tekhnolohiia pidzemnykh trub. Machinery Industry Press, 2014. 187 p.

8. HDD technology and methods of horizontal drilling rigs PERFORATOR. Germany, 2002. URL: <http://perforator.su/tekhnologiya.html>

9. Frolov K.V. Vibratsii u tekhnitsi. U 6-ty tomakh. Zakhyst vid vibratsii ta udariv (Tom 6) / Za zah. red. akademika RAN K.V. Frolova. M: Mashynobuduvannia, 1995. 456 p., il.

10. Manhushev V.A. Osnovy teorii ta konstrukttsii dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia. M.: Voienizdat, 1973. 422 p., il.

11. Kolchyn A.I. Rozrakhunok avtomobilnykh ta traktornykh dvyhuniv: navch. posib. dlia vuziv. 2-he vyd., pererob. ta dop. M: Vyshch. shkola, 1980. 400 p., il.

12. Izmailov D.Iu. Virtualna vymiriuvalna laboratorii PowerGraph. *Radio shchorichnyk*. 2013. No 22. P. 274 – 313.

13. Barskyi I.B. Zcheplennia transportnykh ta tiahovykh mashyn / Za red. F.R. Hekker. M: Mashynobuduvannia, 1989. 344 p.: il.

14. Kolovskyi M.Z. Neliniina teoriia vibrozakhysnykh system. M.: Nauka, 1966. 318 p., il.

15. Matvieiev, V.V. Pro dempfuiuchu zdattnist zamkovykh ziednan turbinykh lopatok. U kn.: *Rozsuiuvannia enerhii pry kolyvanniakh pruzhnykh system*. K.: Naukova dumka, 1972. P. 259-269.

16. Reshetov D.M. Dempfovannia kolyvan u detaliakh verstativ. U kn.: *Doslidzhennia kolyvan metalorizalnykh verstativ*. M.: Mashhiz, 1958. P. 17-24.

17. Rivin Ye.I. Deiaki pytannia vibroizoliatsii verstativ. *Dynamika mashyn / Za red. I.I. Artobolevskoho*. M: Nauka, 1969. P. 229-238.

18. Tolskyi V. Ie. Eksperymentalne doslidzhennia vibratsii avtomobiliv pid chas roboty dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia (chastyna 1). *Pratsi NAMI*. 2015. No 263. P. 5 – 24.

19. Geisberger A., Khajepour A., Golnaraghi F. Modelling of hydraulic mount з новим MDOF decoupler використовуючи bondgraphs. Department of Mechanical Engineering. University of Waterloo. Waterloo. Ontario. Canada X2L 3G1.

20. Moliboshko L.A. Dynamichni rozrakhunky transmisii transportnykh mashyn: Navchalnyi posibnyk z kursu «Konstruiuvannia ta rozrakhunok avtomobiliv». Minsk: Vyd-vo BPI, 1977. 69 p., il.