УДК 699.842+691.175

В. А. АНДРОНОВ, д-р техн. наук, проф., проректор, Національний університет цивільного захисту України, Харків;
О. М. БУХМАН, викладач, Національний університет цивільного захисту України, Харків

СУЧАСНІ ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ РІВНІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ПАТОЛОГІЇ У РОБІТНИКІВ, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ ВПЛИВУ ЛОКАЛЬНОЇ ВІБРАЦІЇ

У статті, що є аналізом сучасної наукової та патентної літератури, розглянуто стан питання щодо негативного впливу виробничої локальної вібрації механічних ручних інструментів на рівень професійної захворюваності робітників. Визначені шкідливі фактори, які мають сумісну дію та посилюють негативний вплив локальної вібрації. Показано, що використання вібропоглинаючих мастик на основі епоксидних смол та олігомерів для зниження локальної вібрації ПРІУД методом нанесення на руків'я є перспективним, доцільним та обгрунтованим

Ключові слова: ручний механізований інструмент, локальна вібрація, вібраційна патологія, вібробезпека.

Вступ. Джерелами локальної (місцевої) вібрації, що передається людині через руки, є ручні механізовані інструменти (РМІ), які розповсюджені у різних галузях сучасної промисловості: гірничорудної - перфоратори, відбійні молотки, гірничі свердла, бурові долота; лісової - сучкорізки, моторні та електропилки; машинобудівельної - рубильні, клепальні молотки, зачистні, шліфувальні та полірувальні машинки, гайковерти; у будівництві - відбійні молотки, бетоноломи [1]. Найважливіша перевага ручних машин – їх висока ефективність у роботі, здатність задовольняти різноманітні умови праці, портативність і маневреність, порівняно невисока вартість, невеликі витрати на експлуатацію. Застосування РМІ дозволяє підвищити продуктивність у 10-15 разів, витрати на придбання ручних машин окупаються за 4-10 тижнів.

При цьому найсуттєвішим недоліком РМІ є створення в процесі роботи небезпечного фактору, що негативно впливає на працездатність людини – оператора ручних машин – локальної вібрації. Подовженій дії локальної вібрації підлягають робітники багатьох професій - забійники, проходчики, гірничі робітники очисних забоїв, обрубники, клепальники, формувальники, полірувальники, бурильники та ін. [3]. Діапазон частот локальної вібрації, що виробляють при роботі механізовані ручні інструменти дуже широкий - від 6 до 1400 Гц та більше. Інтенсивність і характер вібраційних коливань залежить від багатьох факторів.

Мета роботи. Метою дослідження є аналіз сучасної наукової та патентної літератури і стану питання щодо негативного впливу виробничої локальної вібрації механічних ручних інструментів на рівень професійної захворюваності робітників; визначення шкідливих факторів, які мають сумісну дію та посилюють негативний вплив локальної вібрації; здійснення огляду сучасних методів та

© В. А. АНДРОНОВ, О. М. БУХМАН, 2014

засобів зниження вібраційних характеристик пневматичних ручних інструментів ударної дії.

Методика та результати дослідження вібронебезпеки механізованих ручних інструментів. Аналізом встановлено, що найбільшу частину (більше 60%) усіх сучасних ручних інструментів складають машини, які працюють за принципом ударної дії.

Порівняльна характеристика параметрів вібрації механізованих ручних інструментів показує, що найбільші амплітуди вібрації (0,05-3,1 мм) ударних інструментів (клепальних, рубильних молотків, перфораторів) відповідають основним частотам 25-50 Гц, а інструментів обертальної дії (шліфувально-полірувальних машинок, бензо- та електропил) – частотам 70-800 Гц, але з меншими амплітудами. Таким чином, параметри вібрації пневматичних ударних інструментів, а саме, перфораторів, рубильних, клепальних та відбійних молотків є найбільш небезпечними для людини-оператора.

Пневматичні ручні інструменти ударної дії (ПРІУД) значно легші від електричних, мають більшу енергію ударів. Собівартість їх виготовлення значно нижча тому, що вони менш трудомісткі й не потребують використання дорогих матеріалів. Простота обслуговування і ремонту забезпечують низькі експлуатаційні витрати. Тому у більшості галузей промисловості, в тому числі і машинобудівельній, не зважаючи на вібронебезпеку, використання ПРІУД є економічно вигідним. Найбільшим недоліком ПРІУД, що обмежує його використання, є висока вібронебезпека. Вібрації пневматичних ручних інструментів ударної дії спричиняють негативний вплив на організм людини-оператора, що призводить до професійної патології [5].

Внаслідок широкого розповсюдження ПРІУД у різних галузях господарства України і в світі та неможливості їхньої повної заміни у теперішній час сучасним інструментом з більш небезпечними рівнями вібрації, дослідження щодо зниження вібронебезпеки праці з ним проводяться останні 50 років. Починаючи з 50-х років радянськими, німецькими, польськими та іншими вченими були експериментально досліджені вібрації ручних пневматичних рубильно-клепальних молотків.

Порівнюючи сучасні ручні пневматичні молотки за розміром та енергетичним характеристикам, можна розділити їх на чотири основних групи (табл. 1). Кожна з груп має свої тенденції і рівні їхньої досконалості суттєво відрізняються. Так, найбільш досконалими з пневматичних молотків є відбійні та бурильні, які використовуються при виконанні основних робіт у гірничій промисловості. Рубильні та клепальні молотки використовуються при виконанні другорядних виробничих процесів, тому удосконаленню їхньої конструкції приділялось менше уваги.

На рис. 1 приведені спектри та рівні віброшвидкості в октавних смугах частот для найбільш розповсюджених ПРІУД [2].

Установлено (рис. 1), що спектри коливальної швидкості ПРІУД охоплюють діапазон частот від 10 до 10 000 Гц, які розрізняються між собою як за характером розподілу коливальної енергії по частотним смугам, так і по рівням коливальної швидкості. Так спектри пневматичних перфораторів відрізняються наявністю у спектрі високого рівня (120-145 Дб) низько- та середньо частотних складових і плавним спадом (до 90 Дб) в області високих частот. Для клепальних та

рубильних молотків високий рівень віброшвидкості харак-терний для низько-, середньо- та високо-частотної областей, тобто їх вібрації характер-ризуються широкосмуговим спектром високих значень віброш-видкості. Очевидно, що умови праці з таким інструментом є найнебез-печнішими навіть за вібра-ційними характеристиками.

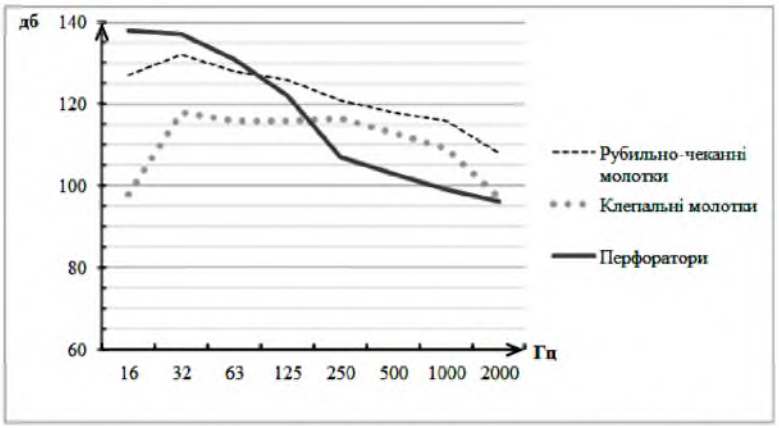

Рис. 1 Рівні віброшвидкості в октавних смугах частот пневматичних ручних інструментів ударної дії

Таблиця 1 – Деякі технічні характеристики сучасних пневматичних молотків

№ з/п.	Групи молотків	Енергія удару,м	Частота ударів за хвилину	Маса, кг	Ударна потужність,к.с.	Витрат повітря, $м^3$/хв
1	Чеканно-клепальні	0,2-0,8	1800-3000	до 4	0,1-0,3	0,1-0,5
2	Рубильно-клепальні: легкі середні важкі	 0,85-1,5 1,5-2,5 2,5-4,0	 1900-3500 1300-1700 800-1200	 4-8 5-9 9-12	 0,4-0,7 0,5-0,7 0,6-0,7	 0,7-1,0 0,8-1,2 1,0-1,2
3	Відбійні	3,5-5,0	900-1800	8-10,5	0,7-1,4	1,2-1,4
4	Бурильні: Ручні підтримкамиу глубочні	 1,7-2,5 4,0-5,5 5,0-7,0	 2500-3500 1800-2200 1700-1200	 11-14 17-25 22-31	 1,2-1,4 1,8-3,2 2,0-2,4	 1,7-2,5 2,0-3,5 3,0-3,2

В результаті досліджень установлено, що параметри вібрації пневматичних молотків значно змінюються в залежності від режиму роботи, виду матеріалу, який обробляється, від технічного стану інструмента, тиску стислого повітря, зусилля подачі, маси інструменту та інших факторів виробничого середовища. Так, при випробовуванні рубильних та клепальних молотків встановлено, що при різних зусиллях подачі та величинах тиску стислого повітря в мережі залежність амплітуди вібрації основної частоти від зусилля подачі має складний екстремальний характер. Встановлено, що вібрації корпусу перфоратора мають кореляційний зв'язок з величинами зусилля подачі і тиску стислого повітря: зростання тиску стислого повітря майже у двічі призводить до зростання вібрацій у 1,5-3 рази, а при збільшенні зусилля подачі в 1,6-2 рази рівень вібрації перфоратора зростає у 1,5 рази.

Аналіз великої кількості опублікованих робіт показує, що умови праці робітників, які використовують ПРІУД, характеризуються перш за все наявністю локальної вібрації, яка негативно впливає на робітника в умовах виробництва та у різноманітних поєднаннях з численними виробничими умовами. Так, окрім локальної вібрації на працівників впливають такі шкідливі та небезпечні фактори

як тяжкість трудового процесу (динамічна та статична напруга), мікроклімат (температура приміщення, швидкість руху повітря, атмосферний тиск, вологість повітря) [9], виробничий шум, в тому числі від роботи ПРІУД [2], охолодження та навантаження на верхні кінцівки (температура та теплопровідність матеріалу руків'я), ергономічні характеристики трудового процесу, вміст шкідливих речовин у робочій зоні.

Обговорення результатів дослідження вібронебезпеки пневматичних ручних інструментів ударної дії та визначення шляхів зниження рівнів професійної патології у робітників. Вібраційна хвороба внаслідок дії локальної вібрації спостерігається у операторів ПРІУД, робота яких супроводжується струсом окремих ділянок тіла у широкому діапазоні частот [9]. Ця форма хвороби характеризується ураженням трьох систем організму: судин, нервів та кісток. Вібрація низьких частот (до 35 Гц) переважно діє на периферичні нервові утворення і кістково-суглобовий апарат. Коливання низьких частот впливають на психологічний стан людини, викликає порушення координації рухів (особливо на частотах 4-11 Гц), а частотний діапазон 4-8 Гц обмежує стійкість до дії вібрації завдяки вібрації внутрішніх органів. Високочастотна вібрація (35 Гц і більше) призводить до спазму судин. Доведено, що низькі коливальні частоти (до 50 Гц) здатні знижувати артеріальний тиск, а високочастотні коливання (до 100 Гц) навпаки, підвищують артеріальний тиск, а також збільшують число серцевих скорочень. Однак найчастіше спостерігається поєднання цих явищ.

Вищеозначені форми вібраційних змін в організмі людини, що працює з ручним інструментом дозволяють зробити висновок, що людина-оператор підлягає комбінованої дії локальної та загальної вібрації. Вчені Великобританії, Фінляндії, Італії, Франції, Германії, Швеції, Японії вважають, що більша частка механічної вібрації, яка виникає з силових процесів або ручних інструментів (в тому числі і ПРІУД) поступає в тіло людини крізь пальці або долоні рук [7,8]. Її називають «вібрацією», яка передається через руки (ВПР) та виділяють як основний фактор, що сприяє розвитку вібраційної хвороби. Експериментальним шляхом було показано, що чутливість людини-оператора до вібрації знижується зі збільшенням її частоти [8], найбільш небезпечними вважаються вібраційні коливання з частотою від 100 до 200 Гц, а найбільший дискомфорт викликає вібрація, що діє у вертикальному напрямку.

Професійною патологією операторів ПРІУД вважають захворювання, пов'язані з фізичними навантаженнями верхніх кінцівок, які є досить розповсюдженими, позначаються терміном «неспецифічні порушення рухового апарату руки» та по суті є захворюванням рук від функціонального перенапруження, що є наслідком динамічних, статичних зусиль та локальної вібрації [4]. Відмічається, що найбільш суттєвими несприятливими виробничими факторами для операторів ПРІУД, які прискорюють виникнення професійних захворювань верхніх кінцівок від дії вібрації є тяжкість трудового процесу та дія низьких температур навколишнього середовища [2]. Експериментально встановлено, що пороги вібраційної чутливості змінюються не тільки внаслідок дії вібрації, а також під впливом низької температури навколишнього середовища та динамічного навантаження кінцівок. Доведено, що поєднана дія вібрації та холоду по відношенню до судинної системи призводить до поглиблення ефекту кожного з

них при їх одночасній дії, а також, що низька температура сприяє більш вираженої дії вібрації високих частот на периферичні судини та вібраційну чутливість [2]. Показано, що у хворих вібраційною хворобою від дії локальної вібрації найбільше зниження вібраційної чутливості спостерігається саме у верхніх кінцівках. Динамічне навантаження та охолодження кисті підвищують пороги вібраційної чутливості на 2-3% та 6-15% відповідно на усіх дискретних частотах. Найбільший вплив названих факторів спостерігається в області середніх та високих частот – від 125 Гц і більше.

Таким чином, аналіз дозволяє зробити висновок, що робота з ПРІУД викликає у людини-оператора низку професійних захворювань, які дістали загальну назву «вібраційної хвороби». З'ясовано, що більш виражені патологічні зміни в організмі відбуваються в результаті дії низькочастотних коливань локальної вібрації, які присутні у спектрі роботи ПРІУД.

Особливо небезпечними є професійні захворювання периферичної нервово-м`язової, судинної та кістково-суглобової систем верхніх кінцівок, які посилюються внаслідок дії додаткових факторів, таких як тяжкість трудового процесу та низькі температури навколишнього середовища і руків'я. Дані щодо впливу поєднаної дії локальної вібрації та температури руків'я на розвиток патології верхніх кінцівок в літературі відсутні, в той час як відомо, що тепловий стан поверхні та руків'я ПРІУД під час роботи є нестабільним [5].

В процесі роботи ручного механізованого інструменту вібрація неминуча, але її можливо зменшити та знизити її шкідливий вплив на здоров`я працівників, а можливо й попередити виникнення тяжких професійних захворювань.

Зниження шкідливого впливу локальної вібрації, що виникає при роботі з ПРІУД, можливо за рахунок створення конструкцій віброзахищених інструментів та використанням засобів віброзахисту. Радикальними та перспективними шляхами боротьби з вібрацією є впровадження нових, більш сучасних технологічних процесів з використанням вібронебезпечного обладнання та інструментів, розробка систем дистанційного та автоматизованого управління машинами.

У теперішній час відома велика кількість засобів, які забезпечують у тому чи іншому ступені вібробезпеку ручних інструментів ударної дії. Але всі вони мають низку недоліків. Так, використання індивідуальних засобів – рукавиць та взуття забезпечує захист оператора тільки від коливань з високими частотами; застосування віброізолюючого руків'я потребує ускладнення конструкції інструменту в цілому та збільшення його маси. Впровадження нових сучасних вібробезпечних конструкцій ПРІУД в Україні потребує часу та великих матеріальних затрат. Тому на сьогоднішній день актуальним завданням є пошук порівняно дешевих, нескладних у виконанні способів зниження локальної вібрації існуючих конструкцій ПРІУД, що використовуються на вітчизняних підприємствах.

У попередніх висновках було показано, що шкідливий вплив локальної вібрації ПРІУД на операторів посилюється внаслідок дії додаткових факторів, таких як тяжкість трудового процесу та низькі температури навколишнього середовища і руків'я. Тому дуже важливим є урахування того, що застосування тих чи інших методів та засобів повинно сприяти якнайбільшому зменшенню цих

факторів. Таким чином, завдання ускладнюється необхідністю комплексного підходу до її вирішення. Для вирішення вищеозначеної задачі вважається перспективним використання матеріалів на основі полімерів з великим внутрішнім тертям для виготовлення руків'я, рукавиць, прокладок, які встановлюються на шляху розповсюдження вібрації від місця її виникнення до кисті людини-оператора. Тобто розсіювання енергії вібрації відбувається в тілі руків'я і в результаті знижується інтенсивність коливань. Коливальна енергія в процесі вібропоглинання (вібродемпфірування) трансформується в теплову. Таким чином, температура поверхні руків'я в процесі роботи повинна підвищуватись і зменшувати вплив додаткового фактору – низької температури.

У багатьох сучасних ПРІУД, а саме, пневматичних молотках, для досягнення цієї мети служить облицювання руків'я матеріалами на основі пластмас та еластомерів (гуми). Деякі закордонні фірми виготовляють руків'я з гумоподібних матеріалів, наприклад, вулколана. Використовуються також пружні прокладки між корпусом та буртиком інструмента (гасіння енергії удару). Знімні руків'я додаються до інструменту у комплекті та доволі ефективно зменшують інтенсивність локальних вібрацій при роботі. Але з часом вони швидко втрачають вібропоглинальну здатність, мають невелику міцність, руйнуються під впливом вібросилових навантажень і подальша їх експлуатація неможлива, тобто вони недовговічні.

В сучасному виробництві вібробезпечних ПРІУД, більшість виробників віддають перевагу використанню вібропоглинаючим покриттям та мастикам на основі полімерів, які наносяться на руків'я інструментів. Перевагою мастик є можливість їх нанесення на будь-яку, в тому числі і на криволінійну поверхню, високі адгезія до металу та тиксотропні властивості, низька токсичність та горючість у сукупності з високими вібропоглинальними властивостями. Мастики з вібропоглинальними властивостями здебільшого виготовляються на основі епоксидних олігомерів та водних дисперсій гомо- і сополімерів вінілацетату.

Встановлено, що мастики на основі епоксидних олігомерів відрізняються підвищеними вібропоглинальними властивостями (у 2-3 рази) та більшою адгезійною міцністю до сталі [10]. При цьому вони мають меншу густину (~ 1,4 г/см^3 проти 1,7 г/см^3), що дозволяє зменшити кількість вихідних матеріалів та забезпечити більш економний режим їх використання.

Висновки. Таким чином, в ході аналізу наукових та патентних досліджень встановлено, що використання вібропоглинаючих мастик на основі епоксидних смол та олігомерів для зниження локальної вібрації ПРІУД методом нанесення на руків'я є перспективним, доцільним та обгрутованим:

- по-перше, це дасть можливість зменшити інтенсивність локальної вібрації ПРІУД в місці контакту з людиною (на руків'ї) та знизити вірогідність виникнення низки професійних хворобливих змін в організмі під загальною назвою «вібраційна хвороба»;
- по-друге, використання мастик на основі полімерів допоможе зменшити вплив на людину додаткового фактора, що підсилює негативний вплив вібрації – низької температури руків'я за рахунок перетворення коливальної механічної енергії в теплову в покритті;

- по-третє, з економічної точки зору це доцільно тому, що з`являється можливість удосконалення існуючого інструменту не змінюючи його конструктивно; нанесення захисного покриття є нескладною технологічною задачею і може здійснюватись безпосередньо на підприємстві; експлуатаційні властивості такого засобу віброзахисту значно перевищують показники інших – ці покриття є нетоксичними, довговічними, стійкими до впливу факторів навколишнього середовища, обумовлених експлуатацією (води, температури, механічних навантажень та ін.), не заважають при роботі.

В сучасній науковій літературі дані щодо досліджень цієї проблеми відсутні. Тому підвищення рівня вібробезпеки пневматичного ручного інструменту ударної дії за рахунок використання вібропоглинаючої полімерної мастики є важливою науково-практичною проблемою.

Список літератури: **1.** *Ефименко, А. В.* Механизированный инструмент [Текст] / *Ефименко А. В., Рукавишников Ю. В., Щербак О. В.* – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 188с. **2.** Вибрация на производстве [Текст] / под ред. *А. А. Летавета, Э. А. Дрогичиной.* - М.: Медицина, 1971. - 242с. **3.** *Тимофеева, И. Г.* Безопасность труда на виброопасных технологических процессах [Текст] / *И. Г. Тимофеева.* – Улан-Уде: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 95 с. **4.** *Сорокин, Г. А.* Оценка риска функционального перенапряжения рук, связанного с динамическими, статическими усилиями и локальной вибрацией [Текст] / *Г. А. Сорокин, Н. М. Фролова* // Экология человека.– 2012. - №06. – С.13-20. **5.** *Глазов, А. Н.* Влияние эксплуатационных параметров на характеристики пневматических молотков [Текст] / *А. Н. Глазов* // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т.310, №2. – С.60-63. **6.** Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації: ДСН 3.3.6.039-99 / Постанова Головного Державного санітарного лікаря від 1.12.1999 р. №39. - К., 2006. - 48 с. - (МОЗ України, Головне санітарно-епідеміологічне управління). **7.** *Griffin, M.* The diagnosis of disorders caused by hand-transmitted vibration: Southampton workshop 2000 [Text] / *Michael Griffin, Massimo Bovenzi* // International Archives of Occupational and Environmental Health. – 2002. – 75, №1-2. – p.1-5. **8.** *Bovenzi, M.* Acute effects of continuous and intermittent vibration of finger circulation [Text] / *M. Bovenzi, J. L. Welsh Alexandra, M. J. Griffin* // International Archives of Occupational and Environmental Health. – 2004. – 77, №4. – p. 255 -263. **9.** *Николенко В. Ю.* От локальной вибрации до вибрационной болезни [Текст] / *В. Ю. Николенко, Н. Д. Ласткова* // Международный неврологический журнал. – 2011. - №1(39). – С. 1-13. **10.** *Андронов, В. А.* Эффективность использования вибропоглощающего полимерного покрытия для снижения локальной вибрации [Текст] / *В. А. Андронов, Ю. М. Данченко, А. В. Скрипинец, О. М. Бухман* // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. - №6. – С.85-91.

Bibliography (transliterated): **1.** *Efimenko, A. V., Rukavishnikov, Y. V. Shcherbak, O. V.,* (2006). Power tool,188. **2.** *Letaveta, A. A., Drogichina, E. A.* (1971). Vibration in the production, 242. **3.** *Timofeeva, I. G.* (2003). Safety at jeopardize vibration processes,95. **4.** *Sorokin, G. A, Frolova, N. M.* (2012). Risk assessment of functional overstrain hands associated with dynamic , static forces and local vibration. Human Ecology, 6, 13-20. **5.** *Glazov, A. N.* (2007). Influence of operating parameters on the performance of pneumatic hammers. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, V.310, №2, 60-63. **6.** Public health standards of production general and local vibration (2006). DSN 3.3.6.039-99. Kyiv, 48. **7.** *Griffin, M., Bovenzi, M.* (2000). The diagnosis of disorders caused by hand-transmitted vibration: Southampton workshop International Archives of Occupational and Environmental Health, V. 75, №1-2, 1-5. **8.** *Bovenzi, M., Welsh, A., Griffin, M.* (2004). Acute effects of continuous and intermittent vibration of finger circulation. International Archives of Occupational and Environmental Health, V. 77, №4, 255 -263. **9.** *Nikolenko, V. Y., Lastikova, N. D.* (2011). From local vibration to vibration disease. International Journal of Neurological, 1(39), 1-13. **10.** *Andronov, V. A., Danchenko, U. M. Skrypynets, A. V., Bukhman, O. M.* (2013). The effectiveness of the use of vibration-absorbing polymer coating to reduce local vibration. Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 85-91.

Надійшла (received) 17.12.2014