

**Спирін А. В.**

к.т.н., доцент

Цуркан О. В.

викладач

Відокремлений**структурний підрозділ****«Ладжинський фаховий****коледж «Вінницького****національного аграрного****університету»****Твердохліб І. В.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Борисюк Д. В.**

к.т.н., старший викладач

**Вінницький національний
технічний університет****Tsurkan O.**

teacher

Spirin A.

Ph.D., Associate Professor

**Separated structural unit
«Ladyzhyn Professional
College of Vinnytsia
National Agrarian
University»****Tverdokhlib I.**

postgraduate student

**Vinnytsia National Agrarian
University****Borysiuk D.**

Ph.D., Senior Lecturer

**Vinnytsia National
Technical University****УДК 613.6****DOI: 10.37128/2306-8744-2023-1-5****ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ НА
ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ
ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ**

Особливості впливу виробничої вібрації, характер, глибина і спрямованість фізіологічних змін різних систем організму залежать від рівня, частотного складу коливань і фізіологічних властивостей тіла людини. Саме вібрація є однією із основних причин виникнення професійних захворювань. Вивчення джерел виникнення виробничої вібрації, шляхів її розповсюдження, особливостей впливу на організм людини та захист від шкідливих впливів є наразі актуальним питанням. Аналіз останніх джерел показує що більшість робіт розглядають окремі елементи складної системи ергономічного забезпечення безпечних умов праці при вібраційному впливі на працівників. Тому є потреба поглиблення вивчення цього питання, комплексного розгляду причин виникнення вібрації, її характеристик та особливостей впливу на організм працівника, плануванню заходів та засобів для мінімізації наслідків її негативної дії. Існує два види вібрації: місцева, яка перш за все впливає на ті органи людського організму які знаходяться у безпосередньому контакті з віброуючими елементами, і загальна вібрація, яка призводить до переміщення тіла у просторі і впливає на весь організм. Основними параметрами вібрації є амплітуда і частота коливань, швидкість та віброприскорення. Дія загальної вібрації на центральну нервову систему призводить до порушення рівноваги між збудженням і гальмуванням. Під дією вібрації працівники стають роздратованими, швидко втомлюються, у них з'являється сонливість (а інколи, навпаки, – безсоння), зменшується працездатність, збільшується час виконання виробничих завдань, збільшується час простої і складної реакції. Боротьба з шкідливим впливом механічних коливань в більшості випадків зводиться до дотримання існуючих норм і правил. Також особливу роль відіграють засоби захисту працівників від шкідливої дії вібрації. В першу чергу це удосконалення конструкції транспортних засобів, машин, механізмів та інструменту.

Ключові слова: ергономіка, вібрація, умови праці, коливання, частота, амплітуда.



Вступ. На організм працюючої людини впливає багато матеріальних факторів виробничого середовища. Окремі виробничі фактори діють специфічно, притаманним тільки їм способом, впливаючи на окремі системи та органи і викликають в них певні функціональні зміни або захворювання. Наприклад, фактори пов'язані з коливальними процесами – шум та вібрація часто мають одне джерело виникнення, практично завжди сумісно діють на організм людини, але характер їх впливу дещо різниться. Під впливом шуму відбуваються такі функціональні розлади як, наприклад, адаптація або втомлюваність органів слуху. В окремих випадках шум може викликати професійне ослаблення слуху або навіть повну глухоту. Дія вібрації на організм людини має більш широкий спектр. Особливості впливу виробничої вібрації, характер, глибина і спрямованість фізіологічних змін різних систем організму залежать від рівня, частотного складу коливань і фізіологічних властивостей тіла людини. Важливе значення надають функціональному стану переддверно-завиткового органу (внутрішнє вухо), рухового, шкірного та інших аналізаторів.

Локальна вібрація малої інтенсивності може сприятливо впливати на окремі тканини і організм у цілому, поновлюючи трофічні зміни, поліпшуючи кровообіг у тканинах (вібромасаж) та прискорюючи заживлення ран тощо. При збільшенні інтенсивності коливань і тривалості дії вібрації в організмі можуть виникати стійкі патологічні зміни, які призводять у деяких випадках до розвитку професійного захворювання — вібраційної хвороби. Вібраційна хвороба є однією з основних форм хронічних професійних захворювань; найбільш розповсюджена серед висококваліфікованих робітників з великим стажем роботи.

Однак, окрім специфічної дії на окремі системи та органи людини, люба праця яка виконується у відповідному матеріальному становищі, призводить до виникнення багатьох явищ і процесів, оцінка яких заставляє зробити висновок про комплексну дію всієї виробничої обстановки на людський організм.

В кожному виробничому середовищі одночасно проявляється багато фізичних та хімічних факторів, які можуть нівелюватись і взаємно компенсуватись з точки зору фізіології, або навпаки – накладатись один на одного і підсилювати один одного. Тому одним з принципів ергономіки є розгляд людського організму як єдиного цілого що знаходиться в нерозривному взаємозв'язку з виробничим середовищем. Адже за визначенням Міжнародної організації ергономіки яка була прийнята на конгресі 2010 року: «Ергономіка – це наукова дисципліна, що вивчає взаємодію

людини та інших елементів системи, а також сфера діяльності щодо застосування теорії, принципів, даних і методів цієї науки для забезпечення благополуччя людини та оптимізації загальної продуктивності системи» [1]. Відповідно до даного визначення ергономіка повинна виконувати наступні завдання: проведення досліджень спрямованих на пристосування елементів системи «людина – трудовий процес» до природних фізичних і психологічних можливостей працівника; забезпечення максимальної ефективності праці; запобігання всім можливим загрозам для здоров'я людини; оптимізувати витрати біологічних ресурсів у процесі праці.

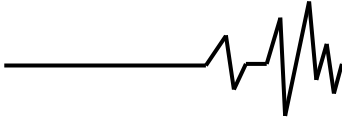
Розгляд виробничого середовища як інтегрального цілого не виключає, однак, необхідності вивчення його окремих складових елементів. В цьому, на перший погляд, протиріччя виступають ті ж взаємозв'язки, що і в протиріччя між частиною і цілим при аналізі та синтезі [2].

Вивчення окремих факторів виробничого середовища вимагає чіткої їх класифікації. При самій загальній класифікації їх можна розділити на дві групи які принципово відрізняються одна від одної, а саме фізичні та хімічні фактори. Однією з підгруп фізичних факторів є коливання і вібрації. В свою чергу, ця підгрупа включає акустичні коливання, тобто шум, та механічні коливання (загальна і місцева вібрація).

Саме вібрація є однією із основних причин виникнення професійних захворювань. Адже в структурі професійних захворювань в Україні на долю вібраційної хвороби припадає 5% діагнозів (загальне четверте місце), але якщо врахувати що вібрація також є однією з причин захворювання опорно-рухового апарату (27,5% діагнозів), захворювань органів слуху (24,8% діагнозів), то можна сказати що наразі вона є одним із найнебезпечніших виробничих факторів [4].

Головною задачею охорони праці (і, звісно, ергономіки) є забезпечення для людини здорових та безпечних умов праці що мінімізують випадки професійного травматизму та захворюваності. Для цього потрібно досконально вивчити в тому числі внутрішні зв'язки в системі «людина–машина», характер їх реагування на зовнішні збурення. Безсумнівно, вивчення джерел виникнення виробничої вібрації, шляхів її розповсюдження, особливостей впливу на організм людини та захист від шкідливих впливів є наразі актуальним питанням. Саме його вивченню і присвячена дана стаття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивчення кожного значного явища, наприклад вплив вібрації на організм людини в



процесі виробництва, передбачає проходження як мінімум трьох етапів. По-перше, потрібно пересвідчити в дійсному існуванні цього явища і окреслити статистичні межі його розповсюдження. В джерелах [3,4] саме підкреслюється наявність такої виробничої небезпеки як вібрація, подані деякі статистичні дані щодо її негативного впливу на здоров'я працівників.

Другим етапом вивчення проблеми вібрації у сфері охорони праці є визначення причин та джерел її виникнення, закономірностей поширення, фізичних характеристик, особливостей впливу на організм людини тощо. Що стосується джерел виникнення виробничої вібрації, то потрібно пам'ятати що вібрацію практично завжди супроводжує шум (і, звичайно, навпаки), тобто вони мають одне джерело. Наприклад в роботі [5], хоча вона в основному присвячена джерелам шуму, зазначається саме той момент що ці два явища у засобах транспорту завжди супроводжують один одного. В роботі [6] вказані основні джерела шуму та вібрації в галузі сільськогосподарського виробництва, їх негативний вплив на організм людини та шляхи мінімізації цього впливу. Ризики для здоров'я від дії вібрації і шуму для працівників конкретної професії, а саме трактористів аграрного виробництва, показані в роботі [7]. В роботі відмічається що шум і вібрація для умов праці аграрного виробництва діють в комплексі з іншими шкідливими факторами (запиленість, температура, вологість повітря тощо) і підсилюють їх негативний вплив. Ще один приклад сумісної дії декількох небезпечних виробничих факторів описаний в роботі [8]. Для інтенсифікації процесу сушіння окрім вібрації використовували також газ озон, який в деяких випадках може являти певну небезпеку.

Для успішної боротьби з негативними проявами вібрації та супутніх факторів потрібно знати їх властивості, зокрема фізичні параметри. Саме аналізу систем визначення фізичних параметрів вібрації, шуму та удару присвячена робота [9]. Математичні моделі процесів виникнення та розповсюдження вібрації, зокрема через пружні елементи транспортних засобів і робоче місце оператора, наведені в роботах [10,11]. Зокрема отримані залежності параметрів вібрації від профілю поверхні по якій рухається транспортний засіб та геометрії його коліс.

Третім етапом "боротьби" з вібрацією є розробка та запровадження у виробництво заходів та засобів які дозволяють зменшити негативний вплив вібраційної дії на організм працівників. Перш за все потрібно звернути увагу на організаційні причини виникнення негативних наслідків дії вібрації. Дієвим

заходом тут може бути атестація робочих місць [12] яка дозволяє виявити критичні місця, намітити шляхи по усуненню існуючих недоліків. Існує також певна кількість технічних заходів та засобів які дозволяють зменшити негативний вплив вібраційної дії. Потрібно відмітити що своєчасне виявлення джерела вібрації (і супутнього їй шуму) дозволяє значно зменшити матеріальні затрати на усунення наслідків цих негативних явищ. Саме цьому питанню присвячені роботи [13, 14] в яких робиться висновок, що своєчасне проведення діагностування ходової частини тракторів значно зменшує ризики виникнення захворювань, пов'язаних з вібраційним впливом, у операторів цих транспортних засобів.

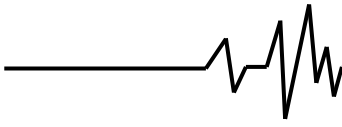
Аналіз останніх джерел показує що вивченню питання захисту працівників від вібраційних впливів приділено достатньо уваги. Але більшість робіт розглядають окремі елементи складної системи ергономічного забезпечення безпечних умов праці при вібраційному впливі на працівників. Тому є потреба поглиблення вивчення цього питання, комплексного розгляду причин виникнення вібрації, її характеристик та особливостей впливу на організм працівника, плануванню заходів та засобів для мінімізації наслідків її негативної дії. Саме цій проблемі й присвячена дана стаття.

Мета досліджень. Метою досліджень є зменшення випадків виробничого травматизму та професійної захворюваності працівників шляхом вивчення ергономічних принципів функціонування системи «людина-машина» в умовах вібраційного впливу, виявлення її основних елементів, взаємозв'язків, можливих реакцій на збурення вібраційного поля і вироблення на цій основі адекватних рішень для зменшення можливих ризиків для життя і здоров'я працівників.

Вклад основного матеріалу.

В ергономіці розрізняють два основних види механічних коливань – періодичні та неперіодичні. Одним з різновидів періодичних коливань є вібрація. Вона зустрічається у всіх видах транспорту, причому є в цьому випадку побічним наслідком використання різноманітних механічних систем (двигуни, рушії тощо) [10, 11]. Крім того, вібрація може виконувати і корисні функції, коли її енергія використовується з виробничою метою [8]. Вібрація яка створюється транспортними засобами, виникає в роторних та ударних пристроях, створює суттєвий вплив на людський організм, причому інтенсивність і характер її дії залежить від виду коливань, способу їх збудження та інтенсивності.

Існує два види вібрації: місцева, яка перш



за все впливає на ті органи людського організму які знаходяться у безпосередньому контакті з вібруючими елементами, і загальна вібрація, яка призводить до переміщення тіла у просторі і впливає на весь організм. Головними джерелами місцевої вібрації є механізовані ручні інструменти, а джерелом загальної вібрації – агрегати ударної дії і транспортні засоби. Звичайно, такий поділ є доволі умовним, оскільки місцева вібрація непрямим чином також впливає на функції всього організму, а загальна вібрація викликає локальні явища в органах тіла які зазнають найбільшого впливу. Окрім того, існує комбінована вібрація, яка включає як місцеву, так і загальну вібрацію.

Вібрація, як і люба форма періодичного руху тіла навколо положення рівноваги, має певні фізичні параметри. Основними з цих параметрів є:

- амплітуда – найбільше відхилення тіла що вібрує або коливається від стану рівноваги;
- частота – число повних коливань які відбуваються протягом 1 секунди;
- період – величина, обернена частоті, тобто час одного повного коливання.

Найчастіше амплітуду вимірюють в мм, частота вимірюється в герцах (Гц), період в секундах. Окрім того, для оцінки вібрації використовують допоміжні величини, серед яких найбільш важливими є: енергія вібрації (величина прямо пропорційна квадрату амплітуди), швидкість, прискорення та швидкість зміни прискорення коливань. Найбільш простою формою періодичних коливань є гармонічні (синусоїдальні) коливання, які детально розглядаються в елементарних підручниках фізики.

Під впливом вібрації в організмі людини виникають різноманітні органічні та функціональні зміни, в тому числі зміни в системі кровообігу (особливо в кровеносних судинах), в центральній та вегетативній нервових системах, у мозку, кістково-суглобній системі і в м'язах. Наслідки впливу вібрацій на організм людини вважають особливим захворюванням, так званою вібраційною хворобою, яка може бути розглянута як своєрідний невроз [3].

При вібраційній хворобі яка настає в результаті тривалого впливу місцевих вібрацій з частотою 35...250 Гц, настають характерні зміни в кровеносних судинах верхніх (і рідше) нижніх кінцівок які викликають відчуття болі, почуття оніміння і холоду, а також втоми. Колір шкіри стає блідим, інколи з'являються симптоми ціанозу (ядухи). При цьому спостерігається зниження температури шкіри кінцівок які уражені хворобою, а також звуження судин, яке починається на кінцях пальців і

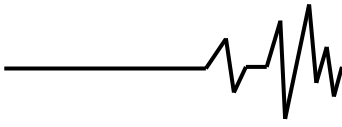
поступово охоплює долоні, потім нижні кінцівки і все тіло. Артеріальний тиск знижується, зменшується частота стискань серця, розлад кровопостачання органів може призвести до омертвіння пальців. Одночасно спостерігається порушення нервових центрів чутливих до вібрації і температури, а також відчуття дотику, причому поріг відчуття вібрації підвищується по мірі звуження судин.

На початковій стадії вібраційної хвороби відбуваються також зміни в тканинах м'язів, в суглобах, а також в кістках і слизовій оболонці стравоходу. Зміни в центральній нервовій системі призводять до появи суб'єктивних та об'єктивних ознак захворювання. Серед перших потрібно відмітити головні болі та запаморочення, серед других – ністагм (тремтіння очей), зміна електричної активності мозку яка проявляється у вигляді відхилення електроенцефалограми від норми, підвищення порогу реакції на світлові та звукові подразники тощо.

При вібраційній хворобі з'являються також серйозні анатоמו-патологічні зміни, локалізація, інтенсивність і характер яких залежить від виду, потужності і часу дії вібраційного збудника.

Вібраційна хвороба яка викликана дією загальної вібрації з частотою нижче 35 Гц, протікає дещо інакше. В її клінічній картині ніколи не спостерігається такого сильного звуження судин (ці симптоми виявляються значно слабкішими і обмежуються областю капілярних судин нижніх кінцівок), зате більш сильною виявляється втрата їх еластичності. В зв'язку з цим, в даному випадку не спостерігається прояви так званого синдрому Рейно, який вважається майже класичною проявою вібраційної хвороби під дією вібрації з частотою 100...250 Гц [15]. Зате часто спостерігається вегетативний невроз, інколи трапляються порушення функцій головного та спинного мозку, органів травлення, з'являються болі в м'язах тощо. Ці прояви вібраційної хвороби протікають з сильно вираженими об'єктивними та суб'єктивними неврологічними симптомами (втрата свідомості, больові відчуття, запаморочення, швидка втомлюваність).

Часто дія вібрації призводить до багатьох функціональних порушень, які, однак, не мають характеру тривалого захворювання і на відміну від затяжного характеру вібраційної хвороби швидко зникають після зміни робочого місця або нетривалого відпочинку. Частіш за все даються ознаки головні болі, запаморочення, погане загальне самопочуття. Люди які часто піддаються впливу загальної вібрації, відчувають болі в шлунку, болі в області попереку, нижньої частини живота або грудної



клітини. Окрім того, спостерігаються порушення рівноваги, підвищення порогу чутності, відбувається підвищення систолічного тиску (тобто тиску під час скорочення серця) [16].

Дія загальної вібрації на центральну нервову систему призводить до порушення рівноваги між збудженням і гальмуванням. Під дією вібрації працівники стають роздратованими, швидко втомлюються, у них з'являється сонливість (а інколи, навпаки, – безсоння), зменшується працездатність, збільшується час виконання виробничих завдань, збільшується час простої і складної реакції. Неодноразово зустрічались випадки зміни в рухомих реакціях, прискорення діяльності серця, підвищення порогу чутливості до вібраційних подразників, порушення в роботі

вестибулярної системи та органів слуху [17].

Залежність енергетичних витрат від вібрації особливо помітна при знаходженні людини в транспортному засобі що рухається. Це пояснюється постійним і, як правило, довготривалим впливом цього шкідливого чинника. Витрати енергії залежать також від швидкості з якою рухається транспортний засіб [18]. Так, при збільшенні швидкості з 20 км/год до 75 км/год енергетичні затрати збільшуються в 1,5 рази. Також зазначено що збільшення витрат енергії залежить від частоти загальної вібрації, а також положення тіла людини, яка знаходиться під дією вібрації. Графічна інтерпретація цих досліджень представлена на рис. 1.

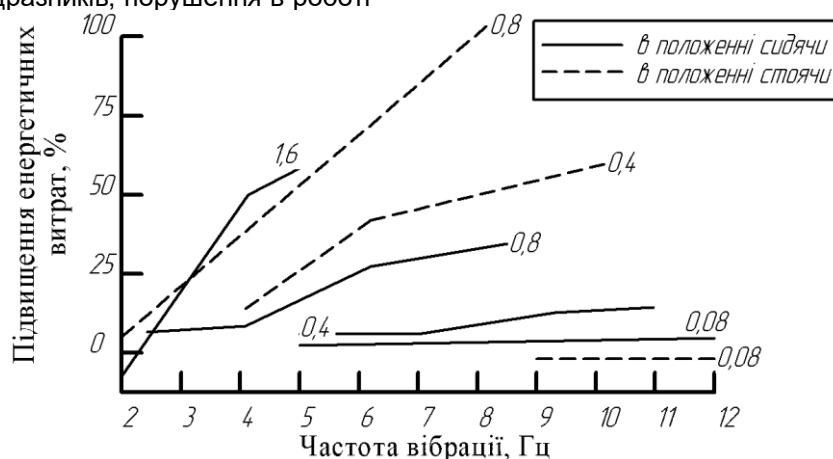


Рис. 1. Зростання енергетичних затрат під дією вібрації в залежності від частоти та амплітуди коливань, а також положення людини

Зазначено що рівень обміну речовин в організмі людини також залежить від часу дії вібрації (стажу роботи в цих умовах). При стажу роботи від одного до трьох років рівень обміну речовин збільшується на 12%, а при стажу від трьох до шести років – на 22%.

Оцінка інтенсивності впливу місцевої та загальної вібрації на людський організм, а також розробка ергономічних норм є досить складною задачею через значну кількість елементів в системі що досліджується. Наприклад, додаткові ускладнення виникають в зв'язку з тим що ступінь впливу вібрації залежить не тільки від її фізичних параметрів, але й від напрямку та місця прикладання сили по відношенню до вертикальної осі тіла людини. При цьому існує певна залежність між зовнішньою вібрацією та частотою власних коливань людського тіла та його окремих частин.

З точки зору класичної механіки людський організм створює свого роду пружну систему, наприклад, як показано в роботі [10]. Еластичність і фізіологічна кривизна хребта, наявність жирових та м'язових прошарків, а також рідин які оточують деякі органи,

можливість виконання еластичних рухів в суглобах і рухомість окремих елементів цієї системи послаблює інтенсивність впливу вібрації. Все це особливо важливо при наявності нерегулярних коливань які сприймаються як окремі ударні імпульси (так звана тряска), що особливо характерно саме при русі тракторів при виконанні технологічних операцій. На кожен з цих імпульсів організм реагує індивідуально. Аналогічним чином діють і періодичні коливання у вигляді загальної вібрації, якщо їх частота незначна, а амплітуда досить значна. Будова людського тіла сприяє пасивному захисту від дії коливань та трясок (тільки кісткова тканина має властивість доброї провідності поштовхів). Окрім того, рефлекторне скорочення м'язів яке виникає під впливом коливань з невеликою частотою і окремих поштовхів, до деякою міри забезпечує ефективний захист. Існує гранична інтенсивність тряски, вище якої вичерпується можливості пасивної амортизації і починається активна амортизація. Потрібно також відмітити що здатність до амортизації, так саме як і чутливість до тряски загальної вібрації, є індивідуальними для кожного організму і



змінюються в широких межах.

При дослідженні впливу вібрації на організм людини було виявлено що легше переноситься дія сили яка направлена перпендикулярно до осі тіла (горизонтальні коливання), ніж коливання які направлені вздовж осі тіла (вертикальні коливання). Можливості амортизації у людей які знаходяться в сидячому положенні, менше ніж у людей які стоять, особливо якщо мова іде про струс голови. Найбільш небезпечними є так звані резонансні коливання, тобто коливання, частота яких відповідає власній частоті коливань окремих органів тіла. В таких умовах зменшується імпеданс, тобто опір організму дії вібрації. Наприклад, резонансна частота для черевної порожнини змінюється в межах 3-10 Гц. Цим можна пояснити порушення діяльності органів травлення і виникнення больових відчуттів у відповідних областях тіла, які особливо часто з'являються при дії загальної вібрації від різних видів транспорту.

Для ергономічної оцінки умов праці потрібна кількісна оцінка впливу вібрації на організм. Такою оцінкою може бути відношення величини енергії коливання до енергії еталонного коливання яке виражене в безрозмірних одиницях. Відповідно до закону Вебера-Фехнера інтенсивність відчуттів знаходиться в логарифмічній залежності від інтенсивності подразника. Ця залежність має наступний вигляд:

$$I = 10 \lg \frac{E}{E_0} = 10 \lg 32 \pi^4 a^2 n^3 \quad (1)$$

де E – потужність власних коливань, тобто кінетична енергія коливань, віднесена до маси і періоду коливань; E_0 – потужність власних коливань при пороговій інтенсивності; а та n – відповідно амплітуда і частота коливань.

Потрібно відмітити що закон Вебера-

Фехнера має доволі наближений характер і його недоцільно використовувати для практичних цілей. Для цього більше підходять емпіричні формули або діаграми [19]. Пропонується оцінювати відчуття впливу вібрації залежно від її максимального прискорення і частоти. В деяких випадках оцінюють загальну вібрацію з частотою менше 5 Гц по швидкості, а при частотах вище 25 Гц – за амплітудою коливань. Для кількісної оцінки впливу вібрації на організм пропонується ввести відносну шкалу вібраційних відчуттів, аналогічно до шкали звукових відчуттів в белах. Потужність еталонного коливання з частотою 1Гц яка відповідає пороговому значенню, становить $10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}^3$, а потужність коливань на межі шкідливої дії на організм людини – $10^3 \text{ м}^2/\text{с}^3$. Тобто вся шкала складена на підставі закону Вебера-Фехнера, має 80 умовних одиниць, яка має назву пал. Людина спроможна відмітити зміну інтенсивності вібраційних коливань в 1 пал [20].

Так як і шкала децибелів яка використовується для оцінки шуму, дана шкала ґрунтується на так званому еталонному коливанні з частотою в 1 Гц. З віддаленням частоти фактичних коливань від еталонної збільшується різниця між дійсними та теоретичними відчуттями. Так, межа можливості перенесення коливань для частоти 1 Гц становить 80 пал, а для частоти 60 Гц – 40 пал, мінімальне порогове відчуття – відповідно 2 та 20 пал.

Вертикальні та горизонтальні коливання по різному впливають на організм людини. Тому вплив цих коливань доцільно представляти окремо, відповідно описувати окремими математичними виразами. На рис. 2 представлена оцінка вертикальних коливань [21].

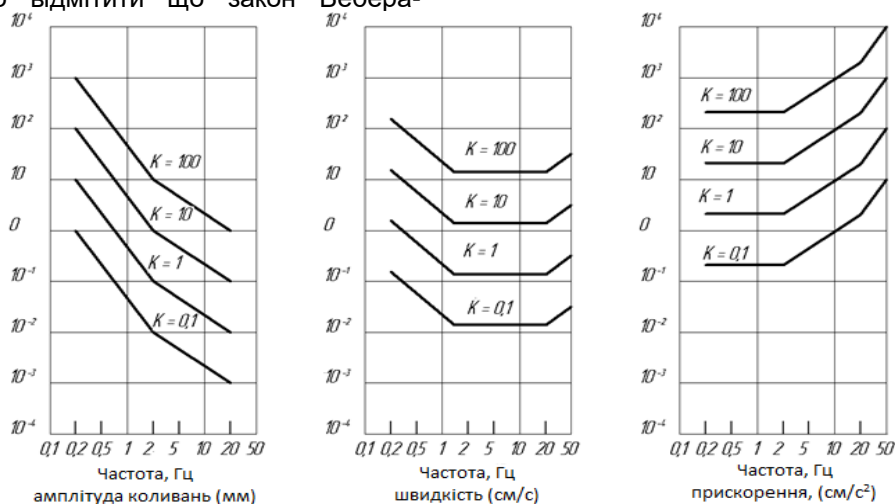


Рис. 2. Оцінка вертикальних коливань



На діаграмах показана залежність від частоти коливань (Гц) відповідно (зліва направо): амплітуда коливань (мм), швидкість (см/с) та прискорення (см/с²). В усіх випадках на цих графіках крива $K = 0,1$ відповідає порогу відчуття, крива $K = 1,0$ – відчутна вібрація, $K = 10$ – вібрація яку витримати можна не більше

однієї години, а крива $K = 100$ – вібрація, дію якої людина взагалі не може переносити. дію якої людина взагалі не може переносити. На рис. 3 представлена оцінка горизонтальних коливань. Позначення аналогічні представленим на рис. 2.

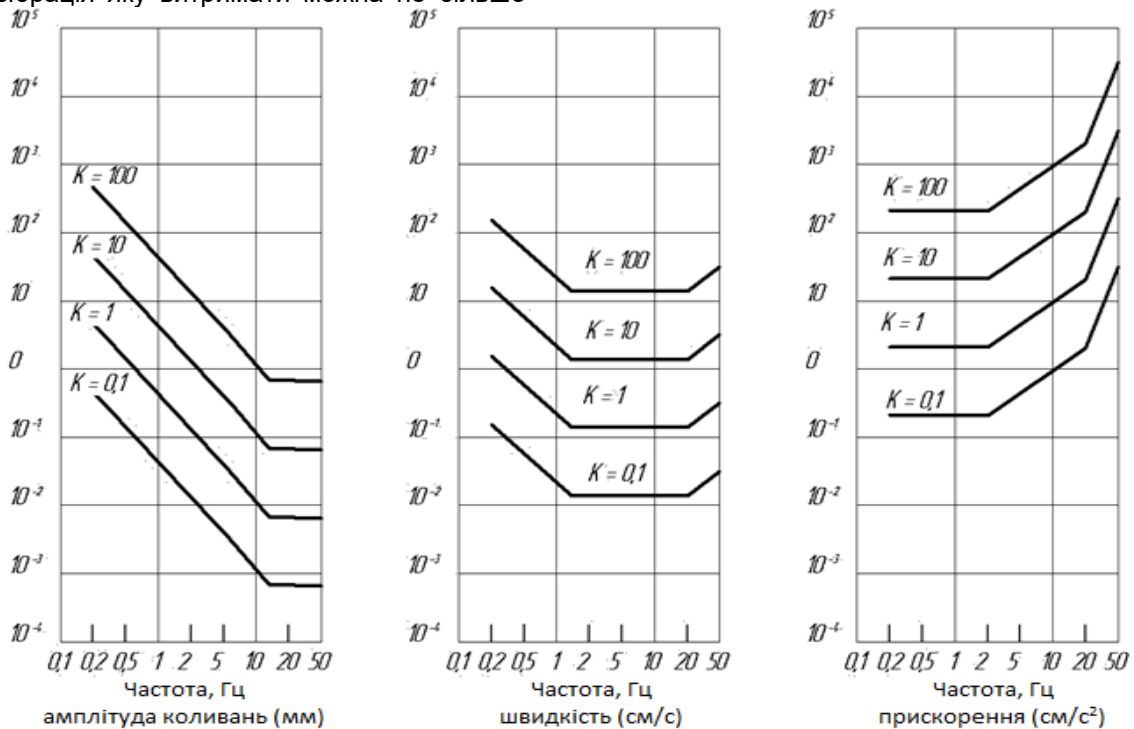


Рис. 3. Оцінка горизонтальних коливань

На думку автора коефіцієнт K можна інтерпретувати як міру вібраційного навантаження на людський організм, його можна визначити залежностями:

$$\begin{aligned} K &= r \cdot \alpha \cdot n^2, \\ K &= q \cdot \alpha \cdot n, \\ K &= p \cdot \alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

де α – амплітуда, n – частота; r , q і p –

емпіричні коефіцієнти, величина яких для горизонтальних коливань відповідно дорівнює 2, 4 і 100, а у випадку вертикальних коливань – 1, 5 і 200.

Також була встановлена залежність впливу коливань і можливості виконувати роботу від величини коефіцієнта K . Результати цих досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Інтенсивність впливу коливань і можливість виконувати роботу в залежності від величини коефіцієнта K

Характеристика коливань	Можливість виконувати роботу	K
Нижня межа чутливості	Без порушень	0,1
Коливання які легко переносяться	Без порушень	0,1...0,3
Помітні коливання, дещо неприємні у випадку дії на протязі декількох годин, але цілком терпимі	Без порушень	0,3...1,0
Коливання які відчуються як дуже неприємні у випадку дії на протязі декількох годин, але можна стерпіти	Обмежена	1,0...3,0
Коливання які тяжко сприймаються, можна стерпіти не більше 1 години	Дуже обмежена	3,0...10,0
Коливання які дуже тяжко сприймаються, можна стерпіти не більше 10 хвилин	Майже неможлива	10,0...30,0
Коливання які надзвичайно тяжко сприймаються, можна стерпіти не більше 1 хвилини	Неможлива	30,0...100,0
Коливання які неможливо переносити	Неможлива	> 100,0



Також розроблена діаграма (рис. 4) впливу загальної вібрації в залежності від максимального прискорення (перерахованого в одиниці *g*) на основі суб'єктивного сприйняття [22].

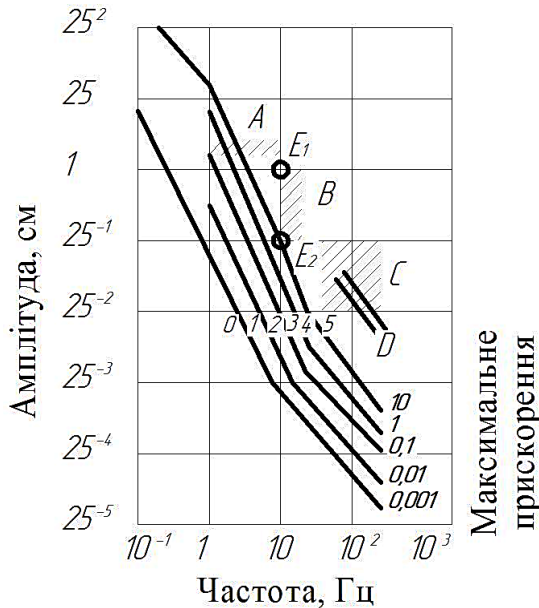


Рис. 4. Вплив загальної вібрації в залежності від максимального прискорення та амплітуди

На рис. 4 показані параметри вібрації які характерні для важкого транспорту (зона А). Точка *E₁* відповідає нестерпній дії вібрації, а точка *E₂* – відчуттям які викликають машини середньої потужності з глушниками. Зони В і С відповідають вібраціям які викликають виробничі ротаційні та ударні інструменти. За результатами цих досліджень запропоновано рівні загальної вібрації поділити на п'ять зон, результати представлено в таблиці 2.

Таблиця 2. Зони загальної вібрації

Характер впливу прискорення	Зона	Максимальне прискорення (в одиницях <i>g</i>)
Не відчувається	0	Нижче 10 ⁻³
Відчувається слабо	1	10 ⁻³ ...10 ⁻²
Відчутний вплив	2	10 ⁻² ...10 ⁻¹
Викликає слабкі неприємні відчуття	3	10 ⁻¹ ...1
Викликає доволі неприємні відчуття	4	1...10
Небезпечний вплив	5	10...100

У випадку місцевої вібрації рекомендовано користуватись параметрами які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Гранично допустима амплітуда коливань ручного інструменту і стаціонарного обладнання

Частота вібрації, Гц	Гранично допустима амплітуда вібрації, мм
20	1,5
30	1,0
35	0,4
50	0,15
60	0,04
80	0,02
100	0,005

Боротьба з шкідливим впливом механічних коливань в більшості випадків зводиться до дотримання існуючих норм і правил. Медичне втручання в цьому випадку практично не потрібно і зводиться до контролю умов праці робітників на виробництві, де вони можуть попадати під вплив інтенсивних коливань при роботі з інструментом або при обслуговуванні машин та механізмів які є джерелами такої вібрації. Робітники які зайняті на таких роботах, повинні проходити обов'язкові періодичні обстеження.

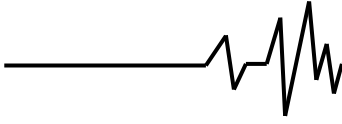
З іншої сторони, особливу роль відіграють засоби захисту працівників від шкідливої дії вібрації. В першу чергу це удосконалення конструкції транспортних засобів, машин, механізмів та інструменту. Багаторічний досвід показує що правильна підвіска, використання пристроїв для амортизації, раціональне обладнання робочих місць тощо, зменшує шкідливий вплив механічних коливань, сприяє підвищенню продуктивності праці.

Висновки

1. Факторами ризику в розвитку функціональних порушень у працівників в процесі трудової діяльності є ергономічні недоліки в організації робочих місць. Незадовільні ергономічні фактори умов праці обумовлюють розвиток функціональних порушень у робітників і можуть стати факторами ризику в розвитку професійних захворювань.

2. Одним з найбільш небезпечним виробничим фактором, що загрожує здоров'ю людини, є вібрація. Особливості впливу виробничої вібрації, характер, глибина і спрямованість фізіологічних змін різних систем організму залежать від рівня, частотного складу коливань, їх направленості та фізіологічних властивостей тіла людини.

3. Для кількісної оцінки впливу вібрації на організм доцільно використовувати відносну



шкалу вібраційних відчуттів, аналогічно до шкали звукових відчуттів. Така одиниця має назву пал, людина спроможна відмітити зміну інтенсивності вібраційних коливань в 1 пал.

4. Боротьба з шкідливим впливом механічних коливань в більшості випадків зводиться до дотримання існуючих норм і правил та застосуванню різноманітних засобів які зменшують параметри вібраційного впливу.

Список використаних джерел

1. Спірін А.В., Цуркан О.В., Твердохліб І.В., Борисюк Д.В. Ергономічні аспекти охорони праці в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. №1 (116). С. 41-50.

2. Цуркан О.В. Системний підхід до вивчення технології післязбиральної обробки насіння гарбуза. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №4 (115). С. 141-147.

3. Обережно! Вібрація! Вплив вібрації на організм людини. Вібраційна хвороба / Управління Держпраці у Рівненській області. URL: <http://rv.dsp.gov.ua/2019/08/22/oberezhno-vibratsiia-vplyv-vibratsii-na-orhanizm-liudyny-vibratsijna-khvoroba/> (дата звернення: 22.01.2023).

4. У 2020 році кількість профзахворювань зменшилась на 7,9% / Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/u-2020-roci-kilkist-profzahvoryuvan-zmenshilas-na-79> (дата звернення: 22.01.2023).

5. Борисюк Д.В. Джерела шуму вантажних автотранспортних засобів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : VII-а Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, м. Вінниця, 8-10 квітня 2019 р.: тези доповіді. Вінниця. С. 52-54.

6. Рудницький Б.О., Спірін А.В., Омелянов О.М., Твердохліб І.В. Оцінка впливу вібрації та шуму на працівників АПК та його профілактика. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2016. №1(81). С. 62-66.

7. Твердохліб І.В., Спірін А.В. Вплив шуму та вібрації на самопочуття тракториста. *Матеріали V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України»*, 30 квітня 2019р.: тези доповіді. Київ: НПУ ім. Драгоманова. С. 137-138.

8. Oleh Tsurkan, Dmytro Prysiazhniuk, Anatolii Spirin, Dmytro Borysiuk, Ihor Tverdokhlib, Yurii Polievoda. Research of the process of vibrozone drying of grain. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 2022. R. 98 NR. P. 329-333.

9. Борисюк Д.В., Яцковський В.І. Системи вимірювання та аналізу вібрації, удару і шуму. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. №4

(72). С.5-12.

10.Твердохліб І.В., Ковбаса В.П., Спірін А.В., Борисюк Д.В. Математична модель коливань робочого місця оператора транспортного засобу. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1 (11). С. 87-92.

11.Твердохліб І.В., Ковбаса В.П., Спірін А.В., Борисюк Д.В. Вплив геометричних параметрів рушія колісного транспортного засобу та нерівностей опорної поверхні на швидкість руху та частоту збурювальної дії. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1 (11). С.79-86.

12.Рудницький Б.О., Спірін А.В., Омелянов О.М., Твердохліб І.В. Атестація робочих місць – важливий фактор безпеки сільськогосподарського виробництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. №2 (90). С. 33-36.

13.А.В. Спірін. Діагностування мостів колісних тракторів як засіб зменшення вібраційного навантаження. Матеріали XVII-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Вібрації в техніці та технологіях», м. Львів, 11-12 жовтня 2018 р. С. 52-54.

14.Твердохліб І.В., Борисюк Д.В., Спірін А.В. Вплив технічного діагностування керованих мостів колісних тракторів на безпеку праці механізаторів агропромислового комплексу. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Цивільна безпека як чинник розвитку виробничої та невиробничої сфер суспільства»*, м. Луцьк, 20-21 жовтня 2018 р. С.70-73.

15.Синдром Рейно / doc.ua. URL: <https://doc.ua/bolezni/sindrom-rejno> (дата звернення: 22.01.2023).

16.Мямлин С.В., Зеленюк Ю.В., Недужа Л.О. Параметрична екологія на залізничному транспорті: принципи, оцінка, контроль, безпека. Дніпропетровськ : НУЗТ. 2014. 197 с.

17.Костюк І.Ф., Капустник В.А. Професійні хвороби. Київ : Здоров'я, 2003. 636 с.

18. Ткачишин В.С. Вплив виробничого шуму на організм людини. *Медицина залізничного транспорту України*. 2004. №3. С. 96-102.

19.Черепньов І. А., Мелентьева Є.С., Биков І.Ю. Вплив факторів вібрації та шуму на діяльність екіпажу, бойової і спеціальної техніки. *Системи озброєння і військова техніка*. 2006. Вип. 4 (8). С. 47-52.

20.Heinrich Dupuis, Georg Zerlett. The Effects of Whole-Body Vibration. Berlin : Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG., 1986. 162 p.

21.Charlotte Åström. The effects of vibration on muscles in the neck and upper limbs. Umeå,



2008. 76 p.

22. J. Kiiski, A. Heinonen, T. Jarvinen, P. Kannus, H. Sievanen. Transmission of Vertical Whole Body Vibration to the Human Body. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*. 2008. №23(8). P. 18-25.

References

1. Spirin, A. V., Tsurkan, O. V., Tverdokhlib, I. V., Borisyuk, D. V. (2022). Erhonomichni aspekty okhorony pratsi v sil's'komu hospodarstvi [Ergonomic aspects of the protection of practice in the agricultural state]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*, 116, 41-50 [in Ukrainian].

2. Tsurkan, O. V. (2021). Systemnyy pidkhid do vyvchennya tekhnolohiyi pislyazbyral'noyi obrobky nasinnya harbuza [A systematic approach to studying the technology of post-harvest processing of pumpkin seeds]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*, 115, 141-147 [in Ukrainian].

3. Oberezhno! Vibratsiya! Vplyv vibratsiyi na orhanizm lyudyny. Vibratsiyna khvoroba [Carefully! Vibration! Impact of vibration on the human body. Vibration disease]. *Department of State Labor in the Rivne region*. Retrieved from <http://rv.dsp.gov.ua/2019/08/22/oberezhno-vibratsiia-vplyv-vibratsii-na-orhanizm-liudyny-vibratsijna-khvoroba/> [in Ukrainian].

4. U 2020 rotsi kil'kist' profzakhvoryuvan' zmeshylas' na 7,9% [In 2020, the number of occupational diseases decreased by 7.9%]. *Government portal*. Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/news/u-2020-roci-kilkist-profzakhvoryuvan-zmeshilas-na-79> [in Ukrainian].

5. Borisyuk, D. V. (2019) Dzherela shumu vantazhnykh avtotransportnykh zasobiv [Noise sources of freight vehicles]. *Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobil'noho transportu : VII-a Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiya – Problems and prospects of road transport development: 7th International Scientific and Practical Internet Conference* (pp. 52-54). Vinnytsia [in Ukrainian].

6. Rudnytskyi, B. O., Spirin, A. V., Omelyanov, O. M., Tverdokhlib, I. V. (2016) Otsinka vplyvu vibratsiyi ta shumu na pratsivnykiv APK ta yoho profilaktyka [Assessment of the impact of vibration and noise on agricultural workers and its prevention]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh – Vibrations in engineering and technology*, 81, 62-66 [in Ukrainian].

7. Tverdohlib, I. V., Spirin, A. V. (2019) Vplyv shumu ta vibratsiyi na samopochuttya traktorysta [Impact of noise and vibration on the well-being of the tractor driver]. *Materialy V-yy Vseukrayins'koyi naukovopraktychnoyi*

konferentsiyi «Problemy tsyvil'noho zakhystu naseleण्या ta bezpeky zhyttyedyial'nosti: suchasni realiyi Ukrayiny» - Materials of the 5th All-Ukrainian scientific and practical conference "Problems of civil protection of the population and safety of life: modern realities of Ukraine" (pp. 137-138). Kyiv [in Ukrainian].

8. Oleh Tsurkan, Dmytro Prysiazhniuk, Anatolii Spirin, Dmytro Borisyuk, Ihor Tverdokhlib, Yurii Polievoda (2022). Research of the process of vibroozone drying of grain. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 98, 329-333 [in English].

9. Borisyuk, D.V., Yatskovskiy, V.I. (2013) Systemy vymiryuvannya ta analizu vibratsiyi, udaru i shumu [Vibration, impact and noise measurement and analysis systems]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh – Vibrations in engineering and technology*, 72, 5-12 [in Ukrainian].

10. Tverdokhlib, I.V., Kovbasa, V.P., Spirin, A.V., Borisyuk, D.V. (2020) Matematychna model' kolyvan' robochoho mistya operatora transportnoho zasobu [Mathematical model of vehicle operator workplace fluctuations]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Bulletin of mechanical engineering and transport*, 11, 87-92 [in Ukrainian].

11. Tverdokhlib, I.V., Kovbasa, V.P., Spirin, A.V., Borisyuk, D.V. (2020) Vplyv heometrychnykh parametriv rushiya kolisnoho transportnoho zasobu ta nerivnostey opornoji poverkhni na shvydkist' rukhu ta chastotu zburyuval'noyi diyi [The influence of the geometric parameters of the wheeled vehicle driver and the unevenness of the support surface on the speed of movement and the frequency of the disturbing action]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Bulletin of mechanical engineering and transport*, 11, 79-86 [in Ukrainian].

12. Rudnytskyi B.O., Spirin A.V., Omelyanov O.M., Tverdokhlib I.V. (2015) Atestatsiya robochykh mist' – vazhlyvy faktor bezpeky sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva [Certification of workplaces is an important factor in the safety of agricultural production]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Technology, energy, transport of agricultural industry*, 90, 33-36 [in Ukrainian].

13. Spirin, A.V. (2018) Diahnostuvannya mostiv kolisnykh traktoriv yak zasib zmeshennya vibratsiynoho navantazhennya [Diagnosis of axles of wheeled tractors as a means of reducing vibration load]. *Materialy XVII-yyi Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh» - Materials of the XVII International Scientific and Technical Conference "Vibrations in Engineering and Technologies"* (pp. 52-54). Lviv [in Ukrainian].

14. Tverdokhlib, I.V., Borisyuk, D.V., Spirin,



A.V. (2018) Vplyv tekhnichnoho diahnostuvannya kerovanykh mostiv kolisnykh traktoriv na bezpeku pratsi mekhanizatoriv ahropromyslovoho kompleksu [The impact of technical diagnostics of controlled bridges of wheeled tractors on the safety of work of mechanizers of the agro-industrial complex]. *Materialy Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Tsyvil'na bezpeka yak chynnyk rozvytku vyrobnychoyi ta nevyrobnychoyi sfer suspil'stva» - Materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference "Civil security as a factor in the development of industrial and non-industrial spheres of society"* (pp. 70-73). Lutsk [in Ukrainian].

15. Syndrom Reyno [Raynaud's syndrome]. doc.ua. Retrieved from <https://doc.ua/bolezni/sindrom-rejno> [in Ukrainian].

16. Myamlyn S.V., Zelenko, Yu.V., Neduzha, L.O. (2014) *Parametrychna ekolohiya na zaliznychnomu transporti: pryntsyipy, otsinka, kontrol', bezpeka* [Parametric ecology in railway transport: principles, assessment, control, safety]. Dnipropetrovsk: NUZT [in Ukrainian].

17. Kostyuk, I.F., Kapustnyk, V.A. (2003) *Profesiyini khvoroby* [Occupational diseases]. Kyiv: Health [in Ukrainian].

18. Tkachyshyn, V.S. (2004) Vplyv vyrobnychoho shumy na orhanizm lyudyny [The impact of industrial noise on the human body]. *Medytsyna zaliznychnoho transportu Ukrayiny – Medicine of railway transport of Ukraine*, 3, 96-102 [in Ukrainian].

19. Cherepnev, I.A., Melentjeva, E.S., Bykov, I.Yu. (2006) Vplyv faktoriv vibratsiyi ta shumy na diyal'nist' ekipazhu, boyovoyi i spetsial'noyi tekhniky [The influence of vibration and noise factors on the activities of the crew, combat and special equipment]. *Systemy ozbrojennya i viys'kova tekhnika – Weapon systems and military equipment*, 8, 47-52.

20. Heinrich Dupuis, Georg Zerlett (1986). *The Effects of Whole-Body Vibration*. Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG [in English].

21. Charlotte Åström (2008). *The effects of vibration on muscles in the neck and upper limbs*. Umeå [in English].

22. J. Kiiski, A. Heinonen, T. Jarvinen, P. Kannus, H. Sievanen (2008). Transmission of Vertical Whole Body Vibration to the Human Body. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and*

Mineral Research, 23, 18-25 [in English].

INFLUENCE OF VIBRATION ON THE ERGONOMIC INDICATORS OF THE PRODUCTION PROCESS

Features of the impact of industrial vibration, the nature, depth and direction of physiological changes of various body systems depend on the level, frequency composition of vibrations and physiological properties of the human body. Vibration is one of the main causes of occupational diseases. The study of the sources of production vibration, the ways of its propagation, the specifics of the impact on the human body and protection against harmful effects is currently an urgent issue.

The analysis of the latest sources shows that the majority of works consider individual elements of a complex system of ergonomic provision of safe working conditions in case of vibrational impact on workers. Therefore, there is a need to deepen the study of this issue, comprehensive consideration of the causes of vibration, its characteristics and specific effects on the worker's body, planning measures and means to minimize the consequences of its negative effects.

There are two types of vibration: local, which primarily affects those organs of the human body that are in direct contact with vibrating elements, and general vibration, which causes the body to move in space and affects the entire body.

The main parameters of vibration are amplitude and frequency of oscillations, speed and vibration acceleration. The effect of general vibration on the central nervous system leads to a disturbance in the balance between excitation and inhibition. Under the influence of vibration, workers become irritable, get tired quickly, feel drowsy (and sometimes, on the contrary, insomnia), work capacity decreases, the time it takes to complete production tasks increases, and the time of simple and complex reactions increases.

The fight against the harmful effects of mechanical vibrations in most cases boils down to compliance with existing norms and rules. Also, a special role is played by means of protecting workers from the harmful effects of vibration. First of all, this is the improvement of the design of vehicles, machines, mechanisms and tools.

Key words: ergonomics, vibration, working conditions, oscillations, frequency, amplitude.



Борисюк Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів–Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

Спірін Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, викладач відокремленого структурного підрозділу «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (м. Ладизин, Вінницька область, вул. Петра Кравчика, 5, 24321, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4642-6205>).

Цуркан Олександр Васильович – викладач відокремленого структурного підрозділу «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (м. Ладизин, Вінницька область, вул. Петра Кравчика, 5, 24321, <https://orcid.org/0000-0001-7857-335X>).

Твердохліб Ігор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>).

Dmytro Borysiuk – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Senior Lecturer of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7, room 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

Anatoly Spirin – candidate of technical sciences, associate professor, teacher of Separate structural subdivision «Ladyzhyn vocational college of Vinnytsia National Agrarian University» (Kravchik Petro St., 5, Ladyzhyn, Vinnytsia Region, Ukraine, 24321, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4642-6205>).

Oleksandr Tsurkan – teacher of Separate structural subdivision «Ladyzhyn vocational college of Vinnytsia National Agrarian University» (Kravchik Petro St., 5, Ladyzhyn, Vinnytsia Region, Ukraine, 24321, <https://orcid.org/0000-0001-7857-335X>).

Igor Tverdokhlib – Candidate of Technical Sciences (Ph.D. in Eng.), associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>).