

УДК 613.644

І.А. Черепньов, Є.С. Мелентьєва, І.Ю. Биков

Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. П. Василенка, Харків**ВПЛИВ ФАКТОРІВ ВІБРАЦІЇ ТА ШУМУ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ЕКІПАЖУ,  
БОЙОВОЇ І СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ***Розглянуті питання впливу факторів вібрації та шуму на діяльність екіпажу та бойової і спеціальної техніки.**вібрація, шумовий вплив, стомлюваність, умови роботи, бойова та спеціальна техніка***Вступ**

У сучасних системах озброєння, керування технологічними й енергетичними процесами протягом ось уже декількох десятиліть активно застосовують методи автоматизації, комп'ютеризації програмного керування. Однак досі центральне місце займає людина-оператор, що приймає остаточне рішення на здійснення чи нездійснення певних дій. З огляду на різко зрослу складність, розгалуженість цих систем, залежність від кінцевого результату здоров'я та навіть життя сотень і тисяч людей, привело до збільшення так званої "ціни" помилкових дій оператора й обслуговуючого персоналу.

**Аналіз літератури.** Автори проаналізували причини аварій в авіації й підводному флоту за період близько 50 років. Отримані цифри говорять про те, що помилкові дії особового складу із загальної кількості причин аварій становлять відповідно для підводного флоту й авіації 55 і 45% [1]. Крім того, приклад помилкових дій операторів Чорнобильської АЕС, диспетчера швейцарських авіаліній, який допустив зіткнення літаків у повітрі підтверджують актуальність досліджень у цій галузі. У ряді літературних джерел наводиться "крива працездатності"

(рис. 1), що дозволяє представити різні періоди і їх часовий розподіл [2, 3].

Організм людини є складною багатофункціональною системою, що у значній мірі сприйнятлива до зовнішніх впливів з боку навколишнього середовища. Весь спектр подібних фізичних впливів можна представити у вигляді схеми (рис. 2) [4]. Діючи окремо або комбіновано на організм людини, ці фактори здатні істотно вплинути на ефективність його роботи.

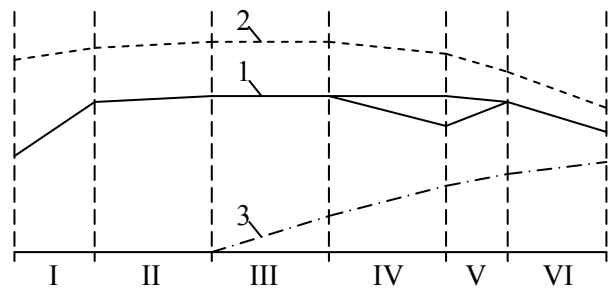


Рис. 1. Графік періодів «роботи оператора»: I – впрацьовуванність; II – оптимальна працездатність; III – повна компенсація; IV – нестійка компенсація; V – кінцевий порив; VI – прогресивне зниження працездатності; 1 – ефективність роботи; 2 – максимальні резервні можливості; 3 – втомлюваність

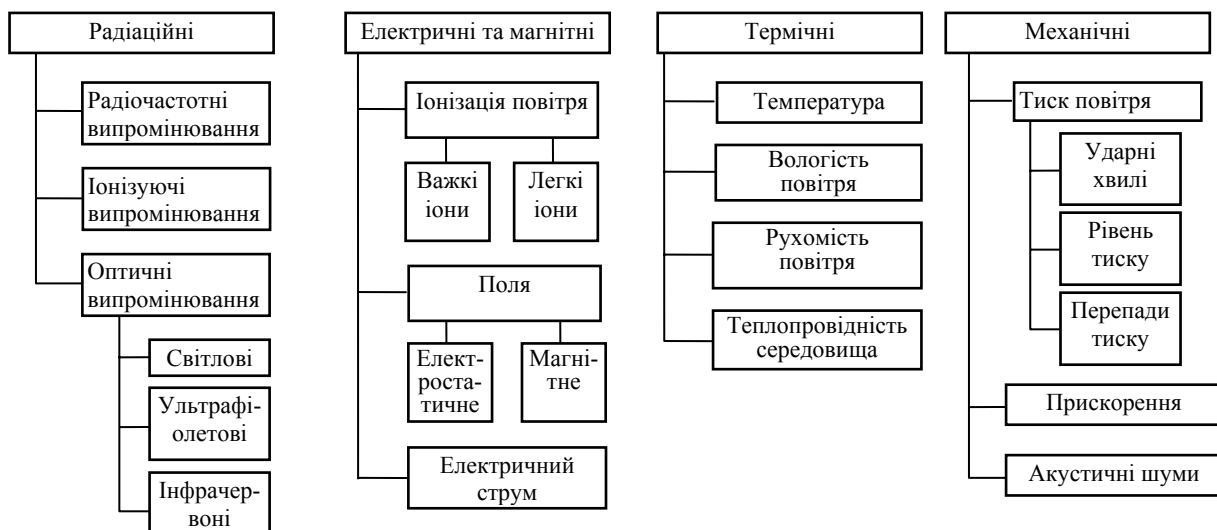


Рис. 2. Фізичні фактори мешкання

## Основний розділ

У даній публікації автори вирішили зупинитися на таких фізичних факторах, як вібрація і шум, під впливом яких перебувають не тільки екіпажі й обслуговуючий персонал бойової та спеціальної авіаційної, морської і транспортної техніки, але й пасажери різного транспорту, робітники будівельних спеціальностей і тощо.

Як відомо, шум являє собою безладні сполучення звуків різної частоти й сили, що викликають неприємні відчуття в людини. Вплив залежить, насамперед, від частотного спектра, сили або інтенсивності. Особливо несприятливо впливають на організм людини високочастотні шуми, що швидко викликають стомлення, порушення в центральній нервовій системі та слуховому аналізаторі. На рис. 3 показана динаміка пильності, яка визначається за своєчасністю сприйняття раптового сигналу й адекватної реакції оператора на нього [5].



Рис. 3. Динаміка пильності

Уже через годину від початку впливу на випробуваних шумів мотора й відволікаючих мовленнєвих шумів спостерігалось істотне збільшення пропусків корисних сигналів. Якщо звернутися до досвіду роботи екіпажів бронетехніки, то: "...Технічно досконалі машини потенційно здатні здійснювати марші на 1500 кілометрів і більше. Однак чим більше темп маршу і його тривалість, тим інтенсивніше діють шум і трясіння на екіпаж. Рівень стабільного акустичного шуму в бронетанковій техніці перевищує нормативи на 10 – 35, а в кабінах інженерних машин – на 20 децибел. Розбірливість мовлення по танковому переговорному пристрою зменшується на 5 – 25 відсотків [6]. Не менш небезпечними виявляються й вібраційні впливи. Найчастіше вони виникають при роботі технологічного обладнання, транспорту і впливають на людину в процесі його військової або трудової діяльності.

Особливо це актуально для екіпажів і обслуговуючого персоналу броне-, авто- та тракторної техніки: "Дуже незвичайно впливає на центральну нервову систему сам факт переміщення ОБТ у просторі. Під дією інерційних сил, знакозмінних прискорень, вібрацій, поштовхів органи й тканини людини піддаються зсувам і струсам. Збільшується навантаження на судинну систему. Іноді це викликає зміни в регіонарному кровообігу.

Вібрація робочого місця може наблизитися до однієї із частот коливань наших внутрішніх органів. Діапазон 11...35 герців (особливо 16 герц) люди переносять важко. У них відбувається мимовільне сечовипускання, виникають болі у внутрішніх органах, запаморочення, нудота, блювота, вони неприємніють, порушується ритм або навіть припиняється серцебиття. Ось звичайні наслідки впливу низькочастотних коливань, характерних для гусеничної техніки. При систематичному впливі вібрації в окремих військовослужбовців утворюються пісок і камені в нирках і сечовому міхурі [6] ". На рис. 4 представлена діаграма відчуття впливу вібрацій залежно від максимального прискорення й частоти [5].

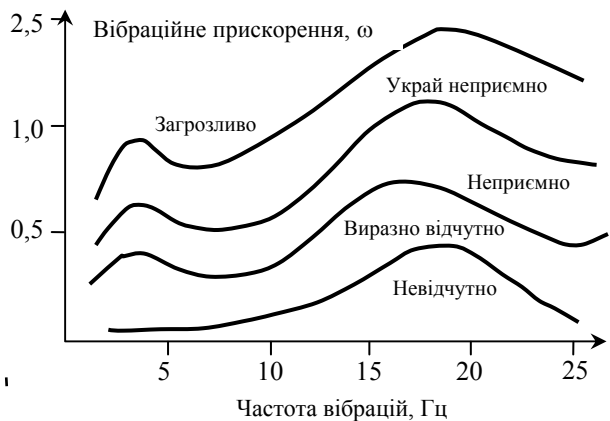


Рис. 4. Діаграма відчуття впливу вібрацій залежно від максимального прискорення й частоти

Це процес, що характеризується частотою, амплітудою. Вібраційна швидкість і прискорення описуються таким аналітичним виразом (1 і 2):

$$U_{\max} = 2\pi f \alpha; \quad (1)$$

$$\omega = \frac{4\pi^2 f^2 \alpha}{981}, \quad (2)$$

де  $U_{\max}$  – максимальне значення вібраційної швидкості в див/сек;  $\omega$  – прискорення вібрації в частках або одиницях g;  $f$  – частота;  $\alpha$  – амплітуда, см.

Для оцінки впливу на організм у ряді випадків використовують емпіричні формули (3) і (4):

$$c = \alpha f^k; \quad (3)$$

$$c = 2,7\alpha^{0,3} f^{0,5}, \quad (4)$$

де  $C$  – коефіцієнт безпеки;  $c$  – коефіцієнт утомленості;  $\alpha$  – амплітуда;  $f$  – частота;  $k=2$  (у випадку

$2 < f < 60$ );  $k=3$  (у випадку  $f < 2$ );

Вібрація здійснюється на організм людини складний вплив як загального, так і місцевого характеру. Під впливом вібрації відбувається зсув тіла людини, причому окремі ділянки тіла зазнають різних зсувів внаслідок неоднакового демпфірування в

різних суглобах і тканинах. Зсув залежить від пози, яку займає людина. У табл. 1 наведена залежність основних симптомів вібраційної патології і строків їх формування від енергетичних характеристик вібрацій в окремих професіях [7].

Таблиця 1

Залежність основних симптомів вібраційної патології від енергетичних характеристик вібрацій

Професія	Кількість оглянутих робітників	Інструмент			Перевищення границі сприйняття коливальної швидкості, дБ			Тривалість розвитку захворювань	Основні симптоми		
		Найменування інструменту	Кількість ударів (обертів) за секунду	Тривалість роботи протягом зміни, %	Низькі частоти (11-22 Гц)	Середні частоти (22-90 Гц)	Високі частоти (90 Гц та більше)		Зона розладів больової чутливості	ураження м'язів, % (до кількості обстежених)	судинні розлади, % (до кількості обстежених)
Формувальник	100	Трамбівки	10 – 12	40 – 60	55	40	20	9 – 10	Полукуртка	90	0
Бурильник	350	Перфоратори	26 – 40	50 – 65	55	40	45	7 – 8	Довг. рукавички	58	24
Обрубник	500	Рубально-карбувальні молотки	30 – 40	50 – 60	50	55	60	3 – 7	Довг. та короткі рукавички	45	40 – 60
Клепальник	250	Клепальні молотки	25 – 35	45 – 60	25	45	60	5 – 7	Довг. та короткі рукавички	47	4 – 50
Лісопилник	160	Бензомоторні пилки	30 – 40	65 – 70	20	45	60	3 – 5	Пальці	42	70
Шліфувальник	300	Ручні шліфувальні машини	70 – 80	60 – 70	20	45	60	2 – 3	Кінцівки пальців	5	80
Рихтувальник	40	Верстаки динамічного наклепу	100 – 160	80	20	45	60	до 1	Кінцівки пальців	–	90

Між відповідними реакціями організму і впливаючим рівнем вібрації, немає лінійної залежності. Причину цього явища бачать у резонансному ефекті. При підвищенні частот коливань більше 0,7 Гц можливі резонансні коливання в органах людини.

Резонанс людського тіла, окремих його органів настає під дією зовнішніх сил при збігу власних частот коливань внутрішніх органів із частотами зовнішніх сил. Область резонансу для голови в положенні сидячи при вертикальних вібраціях розташовується в зоні між 20...30 Гц, при горизонтальних - 1,5...2 Гц. Особливого значення резонанс набуває по відношенню до органа зору. Розлад зорового сприйняття виявляється в частотному діапазоні між 60 і 90 Гц, що відповідає резонансу очних яблук. Для органів, розташованих у грудній клітині й черевній порожнині, резонансними є частоти 3...3,5 Гц. Для всього тіла в положенні сидячи резонанс настає на частотах 4...6 Гц. Розглядаючи порушення стану здоров'я при вібраційному впливі, слід зазначити, що частота захворювань визначається величиною дози, а особливості клінічних проявів формуються під впливом спектра вібрацій. Виділяють три види вібраційної патології від впливу загальної, локальної

і поштовхоподібної вібрацій. При дії на організм загальної вібрації страждає в першу чергу нервова система й аналізатори: вестибулярний, зоровий, тактильний. Вібрація є специфічним подразником для вестибулярного аналізатора. У робітників вібраційних професій відмічені запаморочення, розлад координації рухів, симптоми захитування, вестибуловегетативна нестійкість. Порушення зорової функції проявляється звуженням і випаданням окремих ділянок полів зору, зниженням гостроти зору, іноді до 40 %, суб'єктивно – потемнінням в очах. Під впливом загальних вібрацій відзначається зниження больової, тактильної і вібраційної чутливості. Особливо небезпечна поштовхоподібна вібрація, що викликає мікротравми різних тканин з наступними реактивними змінами. Загальна низькочастотна вібрація впливає на обмінні процеси, що виявляються зміною вуглеводного, білкового, ферментного, вітамінного й холестеринного обмінів, біохімічних показників крові. Вібраційна хвороба від впливу загальної вібрації і поштовхів реєструється у водіїв транспорту та операторів транспортно-технологічних машин і агрегатів, на заводах залізобетонних виробів. Для водіїв машин, трактористів, бульдозеристів, маши-

ністів екскаваторів, які підпадають під вплив низькочастотної й поштовхоподібної вібрації, характерні зміни в попереково-крижовому відділі хребта. Найчастіше скарги полягають на болі в попереку, кінцівках, в області шлунка, на відсутність апетиту, безсоння, дратівливість, швидку стомлюваність. Вплив загальної низько- і середньочастотної вібрації виражається загальними вегетативними розладами з периферичними порушеннями, переважно в кінцівках, зниженням судинного тонусу й чутливості. Одна із найсерйозніших проблем сучасного виробництва – локальна вібрація. Локальній вібрації піддаються, головним чином, люди, що працюють із ручним механізованим інструментом. Локальна вібрація викликає спазми судин кисті, передпліч, порушуючи постачання кінцівок кров'ю. Одночасно коливання діють на нервові закінчення, м'язові й кісткові тканини, викликають зниження шкірної чутливості, відкладення солей у суглобах пальців, деформуючи й зменшуючи рухливість суглобів. Коливання низьких частот викликають різке зниження тонусу капілярів, а високих частот - спазм судин. Строки розвитку периферичних розладів залежать не стільки від рівня, скільки від дози (еквівалентного рівня) вібрації протягом робочої зміни. Переважне значення має час безперервного контакту з вібрацією і сумарний час впливу вібрації за зміну. У формувальників, бурильників, заточників, рихтувальників при середньочастотному спектрі вібрацій захворювання розвивається через 8...10 років роботи. Обслуговування інструменту ударної дії (клепка, обрубка), що генерує вібрацію середньочастотного діапазону (30...125 Гц), приводить до розвитку судинних, нервово-м'язових, кістково-суглобних та інших порушень через 12...15 років. При локальному впливі низькочастотної вібрації, особливо при значній фізичній нарузі, робітники скаржаться на ниючі, ломлячі, тягучі болі у верхніх кінцівках, часто вночі. Одним з постійних симптомів локального й загального впливу є розлад чутливості. Найбільш різко страждає вібраційна, больова і температурна чутливість. До факторів виробничого середовища, збільшують шкідливий вплив вібрацій на організм, відносяться надмірні м'язові навантаження, несприятливі мікрокліматичні умови, особливо знижена температура, шум високої інтенсивності, психоемоційний стрес. Охолодження і змочування рук значно підвищують ризик розвитку вібраційної хвороби за рахунок посилення судинних реакцій. При спільній дії шуму й вібрації спостерігається взаємне посилення ефекту в результаті його підсумовування, а можливо, і потенціювання. Посилюючий вплив супутніх факторів урахується при розрахунку показників імовірності вібраційної хвороби. У табл. 2 наведені значення розрахункових коефіцієнтів підвищення ризику вібраційної хвороби залежно від

рівня супутнього шуму, температури навколишнього середовища й категорії складності робіт.

Таблиця 2

Коефіцієнти підвищення ризику вібраційної хвороби залежно від рівня супутнього шуму, температури навколишнього середовища й категорії складності робіт

Рівень звуку, дБ А	80	90	100	110	120
$K_{ш}$	1	1,25	1,5	1,75	2
Зміна рівня звуку на 1 дБ А відповідає $K_{ш} = 0,025$					
Температура повітря робочої зони, °С	+20	+10	0	-10	-20 -30
$K_{то}$	1	1,8	2,6	3,4	4,2 5
Зміна температури повітря на 1°С відповідає $K_{то} = 0,8$					
Категорія ваги праці	I	II	III	IV	
$K_{скл}$	1	1,2	1,5	2	

Зміни коефіцієнтів  $K_{скл}$  шуму й температури перебувають у лінійній залежності від значення змінюваного фактора, і тому проміжні значення підраховують за експериментальними формулами виразів (5) і (6):

$$K_{ш} = (L_{ш} - 80)0,025 + 1, \quad (5)$$

$$K_{то} = (20 - T_e)0,08 + 1, \quad (6)$$

де  $K_{ш}$  - коефіцієнт впливу шуму;  $K_{то}$  - коефіцієнт впливу температури.

Оскільки вплив шуму й вібрації найчастіше є комбінованим, то при оцінці умов роботи доцільно використати підхід, запропонований українськими вченими для судових фахівців [8]. Різна природа несприятливого комплексу фізико-хімічних подразників, його сполучення, безперервний, тривалий і одномоментний вплив у цілому підсилює загальнобіологічний ефект впливу на організм людини. Кількісна оцінка категорії умов праці основних професійних груп судових фахівців розраховувалася за формулою:

$$I_T = 10 \left[ X_{max} + \left\langle \frac{(6 - X_{max})}{6} (n - 1) \right\rangle X_i \right], \quad (7)$$

де  $X_{max}$  - найвища з отриманих часткових бальних оцінок;  $n$  - кількість враховуючих елементів (без  $X_{max}$ );  $X_i$  - середня бальна оцінка.

Крім того, були використані формули розрахунку  $K_{ут}$ :

$$K_{ут} = -1,5 + (0,76 \times X_{сангиг}) + (0,58 \times X_{п/ф}), \quad (8)$$

$$I = X - L \cdot \left( \frac{6 - X}{6} \right), \quad (9)$$

де  $K_{ут}$  - категорія умов праці на типовому робочому місці;  $X_{сангиг}$  - середньоарифметична величина всіх санітарно-гігієнічних елементів умов праці;  $X_{п/ф}$  - всіх психофізіологічних (з урахуванням складності, напруженості, ергономічності й соціально-психологічного клімату);  $I$  - результуюча досліджуваних критеріїв;  $X$  - величина в балах найбільшого критерію;  $L$  - середня сума всіх досліджуваних критеріїв праці

(бал); 6 – максимально можлива величина в балах найбільш несприятливого критерію (за НДІ праці).

Якщо на типовому робочому місці є елементи з оцінками 3 і більше бала, що свідчить про формування екстремального середовища, то для інтегральної оцінки в розрахунок приймаються тільки ці біологічно значущі фактори судового середовища. При цьому елементи з оцінкою 1 і 2 бали в розрахунок не приймаються, тому що вони відповідають звичайній життєдіяльності та не беруть участі у формуванні екстремальних умов. За результатами виміру параметрів факторів населеності й зіставлення їх з установленими для кожного фактора нормативними значеннями можна розраховувати єдиний коефіцієнт умов праці  $U$  (вираз 10), який однозначно враховує спільно середні по безлічі відносні відхилення всіх параметрів робочого середовища від нормативних [5].

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{k_j} a_{ij}}{\sum_{j=1}^n k_j}, \quad (10)$$

де  $n$  – кількість робочих місць, на яких вимірювалися фактори населеності;  $k_j$  – кількість параметрів, що контролювалися на кожному робочому місці;  $i, j$  – номери параметрів і робочого місця відповідно;  $a_{ij}$  – показник відхилення фактичного значення  $i$ -го параметра  $j$ -го робочого місця:

$$a_{ij} = \frac{F_{ij}}{N_{ij}} \quad \text{при } F_{ij} < N_{ij}, \quad (11)$$

де  $F_{ij}$  – відхилення фактичного значення від нормативного значення  $N_{ij}$  (при  $F_{ij} > N_{ij}$  розраховується обернена величина відношення).

Взаємодія організму людини з умовами зовнішнього середовища, що змінюються, завжди приводить до перебудови його енергетичного й матеріального балансу, який супроводжується трансформацією внутрішньої енергії в організмі та зміною, що відбувається в ньому обмінних процесів, які формують, в остаточному підсумку, відповідну реакцію всього організму на дію зовнішнього подразника. При цьому первинним для фізичних факторів впливу є порушення енергетичного балансу організму, а як наслідок цього – порушення балансу матеріального. У [7] І.К. Разумов висуває два основних положення т.зв. "енергетичної" теорії дії вібрацій на організм людини, а саме:

– людина сприймає вібрацію не тільки спеціалізованими сенсорами, але й безліччю інтерорецепторів, які обумовлюють інформацію про подразник у нервові центри, що спричиняються рефлекторні реакції інших органів і систем на дію вібрації;

– повинна існувати якісно-кількісна кореляція між характеристикою впливаючої коливальної енергії і спрямованістю спостережуваних змін фізіологічних функцій інших органів та систем.

Однак класична енергетична теорія дії вібрацій на організм людини, представляє його, як механічну коливальну систему. «...Така мета дозволяє нам, поперше, не вникати в деталі, що відрізняють реакцію тіла людини від реакції простої коливальної системи, а по-друге, обмежуючись розглядом найпростіших коливальних систем не враховувати специфіку біологічних об'єктів, які є складними комбінованими системами із множинними зворотними зв'язками і характеризуючимися нелінійністю при інтенсивних коливальних процесах та взаємозв'язком різних мод коливань, складними хвильовими процесами в неоднорідних середовищах і наявністю постійного власного джерела імпульсних низькочастотних коливань-серцевої діяльності...» [7].

Однак, як було доведено вітчизняними вченими Ю.В. Гуляєвим, Е.Е. Годіком, А.Г. Телегіною, Ю.Холодовим та ін., в основі більшості процесів в організмі людини залежать електричні сигнали й перетворення. Зокрема, фізіологи встановили, що т.зв. автоматизм серця – процес не тільки механічний, але й електричний. Попеременне скорочення й розслаблення серцевого м'яза супроводжується надзвичайно швидкими чергуваннями позитивних і негативних зарядів у його тканинах. Невелика нервово-м'язова структура в серці – "задавальний генератор" – є джерелом повторюваного збудження, але частота його пристосована до вимог періодичних м'язових скорочень. Частота "задавального генератора", що збуджує серце людини, становить приблизно один імпульс у секунду і не збігається із частотою нейронної активності, яка лежить у межах 50 – 100 імпульс/сек. Серця інших організмів, що мають приблизно однакове вагове співвідношення серця до всього тіла, мають задавальні генератори частота яких приблизно обернено пропорційна вазі. Рух крові по судинах являє собою потік негативно заряджених часток – еритроцитів. Будь-які зміни в організмі біологічних об'єктів під впливом зовнішніх факторів, у т.ч. вібрації та шуму, неодмінно приводять до зміни динаміки передачі електричних сигналів і електричних процесів у цілому.

## Висновки

1. При оцінці впливу вібрації й шуму на людину необхідно оцінювати зміну плинності електричних процесів в організмі.
2. Прийняття людиною, що перебуває під тривалим впливом вібрації й шуму, помилкових рішень досить імовірно можна пояснити порушенням нормальних умов проходження керуючого сигналу по нервових волокнах і виникненням своєрідних "перешкод".

## Список літератури

1. Черепнев І.А., Гомозов В.И., Черепков С.Т. и др. Особенности деятельности человека-оператора и требования к аппаратуре контроля его состояния // *Збірник наукових праць ХВУ, 2001. – Вип. 2 (32). – С. 93-96.*
2. Загрядский В.П. Физиологические основы повы-

шения боеспособности военных специалистов. – Л.: ВМА им. С.М. Кирова. 1972. – 66 с.

3. Артюх С.Н. Модель оценки работоспособности человека – оператора по данным изменения функционального состояния // Вестник ХНАДУ. – Х.: ХНАДУ, 2004. – Вып. 26. – С.121-123.

4. Черепнев И.А., Артюшенко А.В., Кириенко Н.М. и др. Возможные методы повышения эффективности работы экипажей существующих и перспективных боевых машин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вып. 5 (45). – С. 152-169.

5. Пухов В.А., Фокин Ю.Г. Медико-техническое обеспечение труда специалистов. – М.: МО СССР. – 1979. – 160 с.

6. Вязицкий П., Кудрин И. О человеке забыли // Военный вестник. – 1991. – № 4. – С. 42-45.

7. Разумов И.К. Основы теории энергетического действия вибрации на человека. – М.: Медицина. – 1975. – 206 с.

8. Демидова Т.В., Псядко Э.М., Плетис И.В. Факторы условий труда и их влияние на заболеваемость моряков // Вісник морської медицини. – 2001. – № 1 (13). – С. 10-16.

Надійшла до редколегії 27.10.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмолов, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.