

УДК 62-231.3.:621.313.8

В.В. Бачинський, В.М. Ярмолюк

Науковий центр бойового застосування Сухопутних військ, Одеса

ОЦІНКА СИСТЕМИ РУХОМОСТІ ТРЕНАЖЕРІВ БОЙОВИХ МАШИН

Запропоновано удосконалити методику узагальненої оцінки системи рухомості тренажерів. Проведено комплексну оцінку системи рухомості приводів тренажерів на основі лінійних і дугових електродвигунів (ЛДЕД). Розраховані основні технічні характеристики перспективного приводу кабіни тренажера.

Ключові слова: система рухомості, технічні характеристики, тренажер.

Вступ

При розробці тренажерів виникає ряд проблем, наприклад складність повного моделювання транспортного засобу, її динаміки та систем. На цьому етапі постають завдання, пов'язані з моделюванням так званого поля інформації оператора (створення ефекту присутності), оскільки він судить про поведінку керованої їм машини тільки за допомогою органів чуттів. Саме тому моделювання системи "людина – машина – середовище" можливо тільки за умов достатньо повного та правильного моделювання поля інформації. Від того, наскільки правильно вирішена ця задача, залежить в кінцевому випадку ефективність тренажера як засобу навчання та тренування.

Використання рухомих кабін в тренажерах бойових машин (ТБМ) дозволяє моделювати динаміку руху машини, або, так звану, акцелераційну інформацію (АІ), яка є однією з основних складових поля інформації оператора. Від того, зокрема, наскільки повно та правильно вирішена ця задача залежить і повнота та правильність моделювання всього поля інформації. Тому підвищення рухомості кабін ТБМ як засобу моделювання АІ є одним з основних завдань при створенні тренажерів.

Постає актуальним питання дослідження можливостей і шляхів удосконалення існуючих та створення нових універсальних досить дешевих приводів рухомих кабін (ПРК) ТБМ, які б мали більш широкий діапазон використання, кращі експлуатаційні, економічні та ергономічні характеристики. Таким вимогам можуть відповідати, приводи на основі лінійних та дугових електричних двигунів (ЛДЕД).

Для вирішення проблеми оцінки тренажерів необхідно систематизоване накопичення статистичних даних, проведення великих підготовлених досліджень, розробка критеріїв оцінки, складених за єдиною схемою. Тренажер є складною системою, яка, на відміну від інших, є моделлю ергономічної системи "оператор-машина-середовище". Схема оцінки такої системи запропонована в [1].

В ній тренажер оцінюється за допомогою сукупності критеріїв, об'єднаних у групи, кожна з яких оцінює певну якість або властивість тренажера. Ієрархічна схема оцінки тренажера представлена трьома

ма рівнями оцінок: економічних, функціональних і технічних. Кожний рівень, в свою чергу, включає в себе групи оцінок певної якості або властивості.

Основними недоліками цього методу оцінки є: оцінка тренажера може бути проведена тільки тоді коли тренажер вже створений і активно експлуатується, або, у виняткових випадках, під час випробувань дослідного зразку; метод не дозволяє оцінити якість тренажера на ранніх стадіях проектування, що створює чималі проблеми для конструкторів; оцінка більшості властивостей або якостей проводиться на рівні експертів, що на думку автора призводить до суб'єктивізму.

Зрозуміло, що такий підхід до оцінки тренажера є найбільш реальним тому, що провести повну оцінку тренажера на етапі створення практично неможливо. В той же час, на думку автора, на цьому етапі є можливість попередньої об'єктивної оцінки деяких систем та елементів майбутнього тренажера, що надасть допомогу конструкторам при створенні тренажерів. Однією з таких систем є система рухомості кабіни тренажера, яка є складовою системи моделювання АІ.

Основна частина

Відомо, що визначити перевагу системи рухомості на основі того або іншого приводу кабіни тренажера при простому розгляді технічних характеристик досить важко. Наприклад, якщо електромеханічні приводи кабін тренажерів мають кращу керованість та динамічні характеристики, то для гідроприводів характерним є можливість досягнення великих питомих зусиль при порівняно малих габаритних розмірах виконавчого органу. Тому для вирішення цього завдання необхідно проводити комплексну оцінку систем рухомості тренажерів з різними однотипними приводами. При цьому для перспективних приводів повинні використовуватись розрахункові та передбачувані характеристики.

За методичну основу такої оцінки можна взяти відомі методики оцінки різних систем та механізмів [2 – 4]. З урахуванням критеріїв технічної оцінки, які викладені у [1], оцінку системи рухомості кабіни тренажера доцільно проводити за трьома групами

показників: функціональні характеристики; конструктивні характеристики; техніко-економічні характеристики.

До функціональних характеристик відносяться показники рухомості. До конструктивних – маса та габарити. До техніко-економічних – показники довговічності та економічності.

Значення показників у групах для існуючих систем приймаються за їх відомими технічними характеристиками або за експериментальними даними, а для перспективних – за результатами розрахунків та на основі логістичного прогнозу. Отримані значення характеристик нормуються. Для цього спочатку визначаються показники еталонного зразка за формулою [2]:

$$y_{je} = \sum_{i=1}^n y_{ji} / n,$$

де y_{ji} – j -й показник технічної характеристики приводу i -го типу, $i = 1 \dots n$, n – кількість приводів, які оцінюються.

Для нормування показників характеристик, що є кращими при максимальних значеннях показника використовується формула

$$x_{ji} = y_{ji} / y_{je},$$

де x_{ji} – нормований показник j -тої характеристики для i -того зразка приводу. Для нормування показників характеристик, що є кращими при мінімальних значеннях показника використовується формула

$$x_{ji} = y_{je} / y_{ji}.$$

Критерій оцінки для кожної групи показників визначається за формулою:

$$\Psi_{ik} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_{ji}},$$

де n – кількість показників у групі, а $k=1,3$ номер показника групи.

Узагальнений критерій оцінки для кожного приводу, що розглядається визначається за формулою [2]:

$$\Psi_{i\Sigma} = \sum_{k=1}^3 \lambda_k \Psi_{ik}, \quad (1)$$

де λ_k – коефіцієнт вагомості показників групи.

Проведення оцінки технічних характеристик схеми приводу рухомої кабіни тренажера за методикою, яка викладена вище будемо проводити окремо для кожної групи. Для цього представимо критерії оцінки по кожній групі показників у вигляді окремих таблиць. Для оцінки обрано три типи приводів: шестиступеневий опорний стенд на основі гідравлічних двигунів 6DOF 2000E (компанії Motion System Division, США) [5]; шестиступеневий опорний стенд на основі лінійних асинхронних електричних двигунів HSE-6-MS-15-C-3E (компанії Rexroth Hydrauldyne, Данія) [6]; шестиступеневий привід на основі ЛДЕД постійного струму, описаний у [7].

Для оцінки функціональних та конструктивних характеристик приводів 6DOF 2000E та HSE-6-MS-15-C-3E були використані дані [5, 6], а приводу на основі ЛДЕД постійного струму – результати попередніх розрахунків, отриманих під час кінематичного та динамічного моделювання. Отримані дані занесені до табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Функціональні характеристики

№	Характеристика	Значення показників ПРК		
		HSE-6-MS-15-C-3E	6DOF 2000E	ПРК з ЛДЕД
1	Число ступенів свободи	6 (1)	6 (1)	6 (1)
2	Максимальні переміщення:			
	крен ψ , град	± 23 (0,89)	± 22 (0,85)	± 33 (1,27)
	тангаж θ , град	± 18 (0,76)	± 20 (0,85)	± 36 (1,39)
	рискання ϕ , град	± 18 (0,14)	± 21 (0,16)	± 360 (2,71)
	повздовжні X , м	$\pm 0,26$ (0,59)	$\pm 0,25$ (0,57)	$\pm 0,8$ (1,82)
	поперечні Y , м	$\pm 0,20$ (0,51)	$\pm 0,18$ (0,46)	$\pm 0,8$ (2,05)
	вертикальні Z , м	$\pm 0,29$ (1,45)	$\pm 0,25$ (1)	$\pm 0,2$ (0,8)
3	Максимальні швидкості:			
	крен $\dot{\psi}$, град/с	60 (1,24)	40 (0,83)	45 (0,93)
	тангаж $\dot{\theta}$, град/с	40 (1)	30 (0,75)	50 (1,25)
	рискання $\dot{\phi}$, град/с	40 (0,86)	30 (0,64)	70 (1,5)
	повздовжні \dot{x} , м/с	0,65 (0,83)	0,5 (0,64)	1,2 (1,53)
	поперечні \dot{y} , м/с	0,4 (0,63)	0,3 (0,47)	1,2 (1,9)
	вертикальні \dot{z} , м/с	0,7 (1,17)	0,5 (0,83)	0,6 (1,0)

№	Характеристика	Значення показників ПРК		
		HSE-6-MS-15-C-3E	6DOF 2000E	ПРК з ЛДЕД
4	Максимальні прискорення:			
	крен $\ddot{\psi}$, $град/с^2$	600 (1,13)	400 (0,75)	600 (1,13)
	тангаж $\ddot{\theta}$, $град/с^2$	300 (0,69)	500 (1,15)	500 (1,15)
	рискання $\ddot{\phi}$, $град/с^2$	300 (0,64)	500 (1,07)	600 (1,29)
	повздожні \ddot{x} , $м/с^2$	0,75g (0,85)	0,6g (0,68)	1,3g (1,47)
	поперечні \ddot{y} , $м/с^2$	0,5g (0,65)	0,5g (0,65)	1,3g (1,70)
	вертикальні \ddot{z} , $м/с^2$	0,75g (0,79)	0,6g (0,63)	1,5g (1,58)
Критерій оцінки за конструктивними показниками Ψ_{i1}		0,76	0,73	1,38

Таблиця 2

Конструктивні характеристики

№	Характеристика	Значення показників ПРК		
		HSE-6-MS-15-C-3E	6DOF 2000E	ПРК з ЛДЕД
1	Відносна маса приводу, $M_{пр}/M_{каб}$	1,0 (1,22)	1,16 (1,05)	1,5 (0,81)
2	Відносні габаритні розміри:			
	довжина X/l_x , $м$	0,124 (0,56)	0,141 (0,64)	0,4 (1,8)
	ширина Y/l_y , $м$	0,08 (0,42)	0,098 (0,51)	0,4 (2,07)
	висота Z/l_z , $м$	0,27 (0,96)	0,352 (1,25)	0,222 (0,79)
3	Коеф. компактності, $M_{пр}/V_{пр}$	177 (0,49)	483 (1,35)	417 (1,16)
Критерій оцінки за конструктивними показниками Ψ_{i2}		0,67	0,87	1,23

Для оцінки техніко-економічних характеристик приводів були використані наступні дані. Довговічність оцінювалась середнім строком служби тягових двигунів до капітального ремонту. Інтенсивність відмов оцінювалась як середнє значення для електродвигунів і гідродвигунів в межах довірчої ймовірнос-

ті $\gamma = 0,9$ [8]. Витрати електроенергії, як середні значення при нормальних умовах експлуатації – для приводів HSE-6-MS-15-C-3E і 6DOF 2000E за даними [5, 6], а для приводу на основі ЛДЕД – за попередніми розрахунками. Коефіцієнт корисної дії оцінювався як середній для кожного типу двигуна (табл. 3).

Таблиця 3

Техніко-економічні характеристики

№	Характеристика	Значення показників ПРК		
		HSE-6-MS-15-C-3E	6DOF 2000E	ПРК з ЛДЕД
1	Довговічність, тис. годин	20000 [9] (1,09)	15000 [8] 0,82	20000 [9] (1,09)
2	Інтенсивність відмов λ ($\lambda \cdot 10^{-6} 1/Г$) [8]	2,65 (1,21)	4,3 (0,74)	2,65 (1,21)
3	Витрата електроенергії, кВт/год	6 (0,95)	5 (1,13)	6 (0,95)
4	К.к.д. двигунів, %	0,78 [9] (0,84)	0,88 [10] (1,05)	0,85 [9] (1,02)
Критерій оцінки за техніко-економічними показниками Ψ_{i3}		1,01	0,92	1,06

Для визначення узагальненого критерію оцінки приводів необхідно визначити вагові показники для кожної групи характеристик. Для цього було застосо-

вано метод експертних оцінок. Як відомо, опитування експертів може проводитись одним з двох способів [11, 12], які дозволяють провести ранжирування груп

характеристик та визначити вагу кожної з них:

– у експертів відразу запитують вагу характеристик і тим самим автоматично отримують порядок ранжирування;

– запитується думка експертів лише з приводу порядкового ранжирування характеристик з подальшим нормуванням їх ваги (математичним моделюванням).

Перший спосіб є простішим і скорочує обсяг роботи при обробці результатів експертного опитування. Тому для визначення ваги кожної з груп показників було обрано саме цей спосіб.

Для оцінки ваги груп характеристик λ_k системи рухомості кабіни ТБМ було залучено групу експертів у складі десяти чоловік. До складу групи увійшли науково-педагогічні працівники кафедри бронетанкової техніки Одеського інституту Сухопутних військ та наукові співробітники Наукового центру бойового застосування Сухопутних військ. Експерти визначались з вагою груп характеристик виходячи з того, що їх сумарна вага дорівнює одиниці.

Після проведення опитування, для підвищення якості його результатів, було проведено оцінювання компетентності експертів. Оцінювання проводилось за допомогою критерію Діксона [13]:

$$D_j = \frac{v_j - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}}, \quad (2)$$

де v_j – коефіцієнт рангової кореляції Спірмена j -го експерта; v_{\max}, v_{\min} – максимальний і мінімальний коефіцієнти рангової кореляції Спірмена в групі експертів, залучених до опитування.

Для цього спочатку визначається коефіцієнт рангової кореляції Спірмена для кожного експерта, а після того вибирається максимальний і мінімальний [13]:

$$v_j = 1 - \left(\frac{6 \sum_{i=1}^n d_{ij}^2}{n^3 - n} \right), \quad (3)$$

де n – кількість характеристик в ранжировочній послідовності ($i = \overline{1, n}$); d_{ij} – відхилення значення i -ої характеристики, визначеної j -м експертом, від її середнього арифметичного значення:

$$d_{ij} = |B_{i\text{ср}} - y_{ij}|. \quad (4)$$

де y_{ij} – значення i -ої характеристики, визначеної j -м експертом; $B_{i\text{ср}}$ – середнє арифметичне значення i -тої характеристики за результатами опитування всіх m експертів, тобто

$$B_{i\text{ср}} = \sum_{i=1}^n y_{ij} / m. \quad (5)$$

Користуючись співвідношеннями (2) – (5), було обчислено значення критерію Діксона D_j для кожного експерта, за яким зроблено висновок про його компетентність. Експерти, у яких $D_j > 0,637$, вважаються компетентними, а ті, у яких $D_j \leq 0,637$, вважаються недостатньо компетентними і їх показники у подальших розрахунках до уваги не приймалися.

Результати експертного опитування з урахуванням критерію Діксона D_j , занесені до табл. 4.

Як видно з табл. 4, експерти № 5 та 7 є недостатньо компетентними. Тому їхні показники у подальших розрахунках до уваги не приймалися.

Остаточне обчислення ваги кожної з груп характеристик проводиться шляхом знаходження середнього арифметичного показників вагомості, визначених компетентними експертами (табл. 5).

Таблиця 4

Результати опитування щодо впливу характеристик на якість системи рухомості кабіни ТБМ

№ групи характеристик	Номер експерта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,4	0,6	0,5	0,5	0,3	0,5	0,65	0,4	0,45	0,45
2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,15
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,25	0,4	0,35	0,4
D_j	0,677	0,677	1	1	0	0,823	0,363	0,823	1	0,847

Таблиця 5

Результати опитування компетентних експертів щодо впливу характеристик на якість системи рухомості кабіни ТБМ

№ групи характеристик	Номер експерта								Коефіцієнт вагомості λ_k
	1	2	3	4	6	8	9	10	
1	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,45	0,45	0,49
2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,19
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,35	0,4	0,32

Остаточне обчислення узагальненого критерію оцінки приводів, що розглядались проводиться за формулою (1). Результати обчислення представлені у табл. 6.

Таблиця 6

Оцінка технічних характеристик системи рухомості за узагальненими критеріями

№	Характеристика	Вагові коеф. λ_k	Значення критеріїв		
			HSE-6-MS-15-C-3E	6DOF 2000E	ПРК з ЛДЕД
1	Функціональні показники Ψ_{i1}	0,49	0,76	0,73	1,38
2	Конструктивні характеристики Ψ_{i2}	0,19	0,67	0,87	1,23
3	Техніко-економічні характеристики Ψ_{i3}	0,32	1,01	0,92	1,06
Узагальнений критерій оцінки Ψ_{Σ}			0,82	0,82	1,25

Як видно з таблиці, максимальне значення узагальненого критерію оцінки відповідає приводу з ЛДЕД. Перевага останнього забезпечується в основному за рахунок функціональних та конструктивних характеристик.

Висновки

Таким чином створення перспективного приводу ТБМ на основі ЛДЕД дозволить: збільшити діапазон лінійних і кутових переміщень кабіни тренажера при заданих габаритних розмірах у 1,5-2 рази; скоротити час перехідних процесів (розгін, гальмування, зміна напрямку руху, зміна навантаження і т.і.) порівняно з іншими типами двигунів;

За сумарним узагальненим критерієм оцінки приводів рухомих кабін тренажерів, привод на основі ЛДЕД, незважаючи на гірші вагові показники, переважає інші типи приводів, тому розробку таких приводів для перспективних тренажерів можна вважати доцільною.

Список літератури

1. Базилевский А.Н. Тренажеры для операторов транспортных средств / А.Н. Базилевский, А.Н. Гузий, А.А.Мельник. – К.: Техніка, 1983. – 141 с.
2. Методика комплексной оценки технических характеристик трансмиссий ВГМ // ВНИИТМ, в/ч 68054, 1990. – 120 с.
3. Блинов А.Д., Оценка и прогноз развития трансмиссий / А.Д. Блинов, А.П. Ефремов, В.В. Смолин // Науч.-метод. зб. в/ч 68054, 1991. – 88 с.

4. Дяченко О.Ф. Метод підвищення швидкохідності військових гусеничних машин за рахунок застосування лінійного електроприводу: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.14. – Одеса, 2003. – 210 с.

5. Motion System Division. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.moog.com>. – Заголовок з екрану.

6. Rexroth Hydraudyne. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rexroth-hydrandyne.com>. – Заголовок з екрану.

7. Декл. пат. Україна. Електромеханічний силовий блок багатокординатного тренажера гусеничної машини / В.Т. Беліков, М.Д. Борисюк, В.Г. Головань, В.М. Ярмолук; заявник та патентовласник Одеський інститут Сухопутних військ. – № 2001096533; заявл. 24.09.01; опубл.30.01.03.

8. Сырицин Т.А. Эксплуатация и надёжность гидро- и пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1990.-247 с.

9. Ермолин Н.П. Надёжность электрических машин. / Н.П. Ермолин, И.П. Жерихин. – Л.: Энергия, 1976. – 248 с.

10. Избранные главы. Инженерная гидравлика, гидравлические машины и гидроприводы / А. Дащенко, Е. Красовский, И. Николаенко та ін. – Ропчице, 2006.-295 с.

11. Абчук В.А. Справочник по исследованию операций / В.А. Абчук. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.

12. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

13. Венецкий И.Г. Основные понятия и формулы в экономическом анализе. / И.Г. Венецкий, В.И. Венецкая. – М.: Статистика, 1979. – 246 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2010

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.С. Мінасов, Науковий центр бойового застосування Сухопутних військ, Одеса.

ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОСТИ ТРЕНАЖЕРОВ БОЕВЫХ МАШИН

В.В. Бачинский, В.М. Ярмолук

Предложено усовершенствованную методику обобщенной оценки системы подвижности тренажеров. Проведена комплексная оценка системы подвижности приводов тренажеров на основе линейных и дуговых электродвигателей. Рассчитаны основные технические характеристики перспективного привода кабины тренажера.

Ключевые слова: система подвижности, технические характеристики, тренажер.

APPRAISAL THE SYSTEM OF MOBILE OF TRAINERS OF FIGHTING MACHINES

V.V. Bachynsky, V.M. Jarmolyk

The offered improved method of the generalized appraisal the system of mobile of trainers. The complex appraisal of the system of mobile of drive of trainers is conducted on the basis of linear and arc electric motors (LAEM). The Calculated Basic technical descriptions of perspective drive of cabin trainer.

Keywords: system of mobility, technical descriptions, trainer.