

УДК 629.7

О.Б. Куренко, І.В. Рогозін, Ю.М. Рябуха

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА ВИМОГ ДО ДИНАМІЧНИХ ТРЕНАЖЕРІВ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ВОДИЇВ ЗАСОБІВ РУХОМОСТІ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ПОВІТРЯНИХ СИЛАХ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Розроблено вимоги до динамічних тренажерів для підготовки водіїв засобів рухомості (ЗР), що використовуються у Повітряних Силах (ПС) Збройних Сил (ЗС) України. Отримані методичні підходи, які доцільно використовувати при техніко-економічному обґрунтуванні застосування динамічних тренажерів водіння у навчальному процесі.

Ключові слова: водій, динамічні тренажери водіння, динамічна платформа, засоби рухомості, людино-машинні системи.

Вступ

Постановка задачі. Аналіз воєнних конфліктів останніх трьох десятиріч вказує, що одним з основних наземних засобів забезпечення мобільності військ є ЗР на базі військової автомобільної техніки, які виконують різноманітні завдання: перевезення особового складу та різних вантажів, забезпечення рухомості озброєння та військової техніки (ОВТ) [1 – 4]. Правильна експлуатація парку ЗР ОВТ ПС ЗС України значною мірою залежить від рівня практичної навченості персоналу, який її експлуатує (водіїв). Світовий досвід підготовки водіїв вказує, що для зниження її вартості та підвищення рівня безпеки широко використовують автомобільні тренажери [5].

Найбільш ефективними тренажерами підготовки водіїв, на теперішній час, є динамічні. Динамічні тренажери водіння (ДТВ) оснащуються додатковими пристроями та системами для відтворення сил, що діють на водія під час руху автомобіля. Тому використання динамічних платформ підвищує його вартість та масогабаритні показники, але значно

наближує до реального відчуття водіння ЗР, підвищує адекватність тренажеру. Використання сучасних тренажерних систем виключає необхідність залучення до тренувань значної кількості ЗР, витрати пального, великої кількості інструкторів, вірогідність пошкодження коштовного обладнання та ін. На світовому ринку виробництва тренажерів військового призначення працює понад 600 виробників. З них близько 300 знаходяться в США (50,8 %) та 245 (40,4 %) в Європі [2 – 3].

У Європі науковими дослідженнями в області тренажерних систем займаються компанії IABG (Німеччина), ЦАГИ (Росія), QinetiQ (Великобританія) та ін. Велика кількість європейських виробників зайнята розробкою і виробництвом ключових компонентів, які можуть використовуватися при створенні повнофункціональних тренажерів [2 – 4].

У країнах СНД передовим підприємством у виробництві тренажерів є виробнича фірма "Логос" (Росія), яка 15 років займається розробленням тренажерів бронетанкової та автомобільної техніки. Особливості продукції цієї фірми: максимальне викорис-

тання штатного обладнання бойових машин і автомобільної техніки, високий рівень математичного і програмного моделювання, високоякісна електроніка і сучасне комп'ютерне обладнання. Тренажери, що випускаються підприємством, поставляються не лише у рамках державного оборонного замовлення, але і на експорт багатьом країнам світу.

На теперішній час в Україні є науково-виробничі підприємства, здатні протягом декількох років повністю забезпечити потреби ЗС України у тренажних засобах високої якості з необхідними тактико-технічними характеристиками [3 – 6].

Проте проблеми, щодо належного фінансування цих заходів та розроблення методичного підходу до обґрунтування якісних і кількісних характеристик тренажерів (динамічних) для підготовки водіїв засобів рухомості, що використовуються у Повітряних Силах залишаються не вирішеними.

Актуальність розробки та впровадження в практичну діяльність військових частин новітніх інформаційних технологій визначається недостатністю в ПС ЗС України сучасних тренажерів для підготовки водіїв ЗР ОВТ ПС ЗС України.

Мета статті – розробка шляхів підвищення рівня практичної навченості водіїв щодо експлуатації ЗР, які використовуються у ПС ЗС України, на основі розробки та застосування автомобільних ДТВ та формування вимог до них.

Основний матеріал

Для розробки вимог до ДТВ основних марок ЗР, які використовуються у ПС ЗС України були обґрунтовані їх цільове призначення, склад, основні завдання, вимоги до ефективності та її основних складових, умови застосування, відповідність заданому рівню готовності до виконання завдань за призначенням, ступінь захищеності та живучості, сумісність з існуючими та перспективними системами (засобами) управління та вимоги до рівня уніфікації і стандартизації. Базовим принципом методології формування загальних вимог є системний підхід, згідно з яким здійснюється урахування взаємозалежності та зворотних зв'язків рівнів ієрархічної структури завдань, що вирішуються ПС ЗС України.

Перспективні ДТВ призначені для забезпечення підготовки водіїв до виконання основних завдань їх діяльності, пов'язаних з відпрацюванням навичок водіння на ЗР, що експлуатуються у ПС ЗС України, використання їх устаткування та відпрацювання певного виду завдань (елементів техніки подолання перешкод, водіння в умовах ведення операцій (бойових дій) і т. п.).

Складові частини ДТВ, їх кількість, габарити і можливість кріплення на базовій деталі, визначати-ме його компонування. Компонування ДТВ повинне забезпечувати [2 – 5]:

- малогабаритність і компактність конструкції;
- зручність керування ДТВ та водієм (тим, хто навчається);
- зручність використання ДТВ за призначенням;
- правильний розподіл ваги та низьке розташування центру ваги та пристосованість ДТВ до переміщення;
- пристосованість конструкції до технічного обслуговування та ремонту.

Для забезпечення виконання завдань згідно цільового призначення ДТВ повинен включати наступні основні складові [2 – 5]:

- а) кабіну ДТВ (відповідного ЗР) з робочим місцем водія;
- б) робоче місце керівника заняття (інструктора);
- в) обчислювальний комплекс (електронна обчислювальна машина);
- г) спеціальне математичне забезпечення і програмне забезпечення;
- д) імітатор візуальної та аудіо (звукової) обстановки;
- е) імітатор рухомості (динаміки водіння (руху) та прискорень (акселераційних дій));
- ж) систему живлення (електроживлення) ДТВ;
- и) комплектуючі складові ДТВ.

Враховуючи визначений рівень необхідних професійних навичок та аналіз сучасних ДТВ перелік теоретичних та практичних завдань, які вони повинні вирішувати, включає до себе у першу чергу:

- а) моделювання типових дорожньо-транспортних ситуацій;
- б) виконання практичних вправ з водіння з можливістю вивчення:
 - правил дорожнього руху;
 - побудови ЗР (вивчення складу, розташування органів управління і контрольно-вимірювальних приладів кабіни, а також практичне навчання правилам користування ними);
 - ситуацій, що можуть відбуватися під час виконання встановленого бойового завдання (завдання за призначенням);
 - контраварійної підготовки та ін.;
- в) відпрацювання навичок та дій в різних умовах дорожнього руху, технічного стану автомобілю та раптового виникнення аварійних ситуацій;
- г) контролювання та оцінку якості сформованих практичних навичок, і теоретичних знань.

Однією з основних складових частин ДТВ є динамічна платформа. Вона повинна створювати у тих хто навчається акселераційні відчуття, що подібні до відчуттів, які вони отримують під час реального руху автомобілю для формування у водія певних правильних навичок в керуванні ЗР.

У залежності від ступенів свободи динамічної платформи бувають двох, трьох та більш ступеневі.

На теперішній час для найбільш досконалої імітації водіння ЗР застосовуються шести та більше ступеневі динамічні платформи.

Виходячи з технічних характеристик, наприклад автомобілю УАЗ, динамічна платформа ДТВ повинна забезпечувати [2 – 5]:

а) почуття усіх режимів руху ДТВ (вібрацію (трясіння) під час руху по нерівностям доріг, ударів о перешкоди, руху по бездоріжжю та ін.), які є в реальному автомобілі УАЗ та імітування дії вібрацій у діапазоні вертикальних вібрацій до 8 Гц, горизонтальних вібрацій до 2 Гц;

б) нормальне прискорення та кутові прискорення відносно осей автомобілю за допомогою переміщення кабіни ДТВ (перевантаження на організм водія в межах до 0,7 ... 1,0 g, при цьому час дії цих прискорень повинен складати до 10 с);

в) відповідний крен, зміни напрямку руху і кутові прискорення за допомогою руху кабіни ДТВ та імітатора візуальної обстановки, а саме:

– загальний максимальний курсовий нахил в діапазоні кутів +35°;

– загальний максимальний бічний крен в діапазоні кутів +20°;

– загальну максимальну швидкість відпрацювання кутів нахилів кабіни ДТВ не менш 20 град./с;

– плавну зміну швидкостей нахилу кабіни ДТВ;

г) зміни сил та моментів, що діють на водія в залежності від:

– обраної передачі в коробки переключення передач;

– обраної передачі та включення переднього моста в роздавальній коробці;

– при розгоні, вибігу та гальмуванні ЗР.

Для ефективного навчання водінню ДТВ повинні забезпечувати:

– багатократне відпрацювання найбільш складних ситуацій з водіння ЗР;

– швидкий перехід від однієї навчальної вправи до іншої;

– можливість зупинки ходу водіння (тренування) для розбору ситуації;

– повернення до будь-якого попереднього етапу водіння (відпрацювання навчальної вправи), а також можливість відновлення та повторювання процесу тренування з будь-якого його моменту в різних масштабах часу.

До конструкції ДТВ та окремих його елементів, щодо умов застосування, повинні пред'являтися наступні вимоги [2 – 6]:

– ДТВ повинні проектуватися з урахуванням можливості їх розміщення в типових приміщеннях;

– відхилення габаритів ДТВ від визначених параметрів повинні узгоджуватися між розробником і замовником;

– основні системи ДТВ повинні мати вбудований контроль, що забезпечує виявлення місць несправностей в системі з точністю до змінного блоку, видачу сигналу відмови (відхилення параметрів) блоку або елементу від нормального функціонування системи.

ДТВ доцільно виготовляти та використовувати виходячи з вимог щодо забезпечення високої бойової готовності ЗР частин та підрозділів ПС ЗС України при різних умовах базування і бойового застосування [3, 4].

Вимоги до тренажерів щодо надійності (показників безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збереження) у вигляді комплексних технічних показників повинні відповідати діючій нормативно-технічній документації щодо ДТВ.

Основними вимогами до ДТВ щодо його сумісності з існуючими та перспективними системами (засобами) управління є:

– здатність виконувати завдання за призначенням (водіння) під контролем пунктів управління керівників занять (інструкторів) та автономно;

– спроможність ефективного поодинокого та групового застосування ДТВ.

Найважливішими підходами щодо уніфікації і стандартизації ДТВ є:

а) початок уніфікації та стандартизації слід проводити не тільки на стадії створення зразка ДТВ, а й протягом усього періоду його експлуатації;

б) уніфікація і стандартизація у рамках одного зразка ДТВ або групи ДТВ повинні доповнювати один одного;

в) уніфікація ДТВ по вузлах, блоках і деталях різних зразків автомобільної техніки, що виробляються у нашій країні та за кордоном.

Для техніко-економічного обґрунтування та оцінки фактичного військово-економічного ефекту застосування ДТВ необхідна кількісна міра оцінки ефективності удосконалення (критерій оптимальності).

Для розробки методики техніко-економічного обґрунтування застосування ДТВ у навчальному процесі можна скористатися рекомендаціями, що наведені в [7].

Методикою, зокрема, рекомендується ухвалення рішення про вибір найбільш прийнятних шляхів застосування ДТВ або про відмову від будь-якого з них зіставленням приведених витрат по базовому (з застосуванням навчальних автомобілів) і запропонованим (з застосуванням ДТВ) варіантам.

Вибір економічного ДТВ базується, по суті, на результатах рішення задачі знаходження оптимальної межі переходу з навчання водіння з навчальних (штатних) ЗР на перспективний ДТВ (що закупляється). Рішення задачі можна спростити, якщо визначити відносні витрати на проведення одного заняття:

$$\alpha = \frac{C_{\text{тр}}}{C_{\text{шт}}}, \quad (1) \quad \alpha \leq \frac{\gamma - P_0}{1 - P_0}. \quad (6)$$

де $C_{\text{тр}}$, $C_{\text{шт}}$ – вартість одного заняття на ДТВ і на штатному зразку техніки відповідно, грн.

Тоді, загальна вартість навчання, що підлягає мінімізації, складе:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{шт}} \cdot \left[\frac{\ln(\gamma - P_{\text{н1}}) - \ln(\gamma - P_0)}{\ln(1 - \xi)} + \frac{\ln(\gamma - P_{\text{зад}}) - \ln(\gamma - P_{\text{н1}})}{\ln(1 - \xi)} \right], \quad (2) \quad C_{\text{тр}} \leq C_{\text{шт}} \frac{\gamma - P_0}{1 - P_0}, \quad (7)$$

де γ – максимально досяжний рівень навченості на конкретному типі тренажера, тобто доля операцій що він може відтворювати по відношенню до ЗР, який імітується (адекватність тренажера штатному зразку ЗР);

$P_{\text{н1}}$ – рівень навченості водіїв на ДТВ (у балах або імовірнісних оцінках);

P_0 – початковий рівень навченості водіїв (вірогідність того, що водій виконає завдання за призначенням не навчаючись на цьому ДТВ);

ξ – доля знань (навичок), які засвоюються тим, хто навчається за чергове заняття від усього обсягу знань (навичок), що підлягають засвоєнню на цьому занятті і усіх наступних.

Адекватність тренажера штатному зразку ЗР визначається як:

$$\gamma = \frac{n'_{\text{тр}}}{n'_{\text{шт}}}, \quad (3)$$

де $n'_{\text{тр}}$ – кількість операцій, що виконуються тим хто навчається під час навчання на ДТВ;

$n'_{\text{шт}}$ – кількість операцій, що виконуються тим хто навчається під час навчання на штатному ЗР.

Якщо узяти першу похідну функції $P_{\text{н1}}$ і прирівняти її до нуля, то можна отримати вираження для оптимального значення перехідного рівня навчання, при якому витрати будуть мінімальними:

$$P_{\text{н1}}^* = \frac{\gamma - \alpha}{1 - \alpha}. \quad (4)$$

Із співвідношення (4) витікає важливий наслідок. Оскільки цілком логічно, що перехідний рівень підготовки має бути не нижче початкового, можна отримати граничне відношення витрат на проведення одного заняття на ДТВ і на штатній техніці. Оскільки $P_{\text{н1}} \geq P_0$, то

$$P_0 \leq \frac{\gamma - \alpha}{1 - \alpha}. \quad (5)$$

Звідки отримуємо:

Дійсно, при $\gamma = P_0$, коли адекватність ДТВ до рівню початковому рівню навчання водія, $\alpha \leq 0$, тобто ДТВ просто не потрібний. З урахуванням виразу (1) отримуємо:

тобто визначається граничне значення вартості одного заняття на тренажері. Якщо ця умова не виконується, то витрати на навчання стають неефективними. З формули (7) можна отримати вираз для граничної ціни виготовлення ДТВ.

Вираз (4) дозволяє вирішувати задачу вибору з декількох тренажерів з різними характеристиками такого, навчання на якому дозволить досягти заданих результатів в системі "ДТВ – штатна техніка" при мінімальних витратах. Так, якщо пропонується два-три тренажера, що мають різні адекватності штатній техніці і різні витрати на проведення одного заняття, а отже, й α , то виникає питання про міру їх переваги [7].

Для знаходження виразу, що дозволяє вибрати найбільш економічний тренажер з числа запропонованих з визначеними адекватностями γ і відносними витратами на проведення одного заняття α , підставимо формулу (4) у вираження (2). В результаті перетворення вираження (2) набере вигляду:

$$C_{\text{н min}} = \frac{C_{\text{шт}}}{\ln(1 - \xi)} \cdot F, \quad (8)$$

де F – критерій оптимальності:

$$F = \alpha \ln \alpha + (1 - \alpha) \ln(1 - \alpha) - (1 - \alpha) \ln(1 - \gamma) - \alpha \ln(\gamma - P_0) + \ln(1 - P_{\text{зад}}). \quad (9)$$

Підставляючи значення α і γ у формулу (9), можна підібрати такий варіант ДТВ, який забезпечить мінімальні витрати на навчання. Для F (9) доцільно розробити таблиці, за допомогою яких легко знаходити оптимальне рішення. Наприклад, для випадків $P_0 = 0,1$ і $P_{\text{зад}} = 0,95$ величина F матиме значення, що наведені в таблиці 1 [7].

Для пояснення вибору оптимального ДТВ за умовою мінімуму вартості навчання на тренажері і наступного донавчання на штатній техніці (навчальному ЗР) розглянемо приклад.

Умова. Пропонуються три тренажери, що мають наступні характеристики: $\gamma_1 = 0,6$ і $\alpha_1 = 0,1$; $\gamma_2 = 0,85$ і $\alpha_2 = 0,3$; $\gamma_3 = 0,95$ і $\alpha_3 = 0,6$.

Рішення. Для даних γ та α за табл. 1 знаходимо відповідні значення: $F_1 = 2,43$; $F_2 = 2,19$; $F_3 = 2,37$.

Таблиця 1

Значення коефіцієнту F (за умовою $P_0 = 0,1$ і $P_{\text{зад}} = 0,95$)

α	γ								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95
0,1	2,84	2,74	2,60	2,43	2,19	1,84	1,58	1,23	0,61
0,2	2,88	2,85	2,75	2,62	2,43	2,14	1,92	1,61	1,07
0,3	–	2,89	2,85	2,76	2,61	2,37	2,19	1,93	1,46
0,4	–	–	2,89	2,84	2,74	2,56	2,42	2,20	1,81
0,5	–	–	–	2,88	2,83	2,71	2,60	2,43	2,11
0,6	–	–	–	–	2,88	2,81	2,74	2,61	2,37
0,7	–	–	–	–	–	2,87	2,84	2,76	2,59
0,8	–	–	–	–	–	–	2,89	2,86	2,77

Оскільки у формулі (9) множник, що стоїть перед F, однаковий для усіх трьох випадків, висновок можна зробити на підставі розгляду і порівняння тільки значень критерію оптимальності F. Оскільки мінімальним є значення F_2 , то оптимальним за варіантністю є другий тренажер.

Більш детальне техніко-економічне обґрунтування застосування ДТВ у навчальному процесі доцільно провести на етапі розробки тактико-технічних вимог до даного зразка техніки.

Висновки

На основі отриманих результатів сформовані вимоги до ДТВ ЗР, які використовуються у ПС ЗС України.

Таким чином результати роботи можуть бути використані для забезпечення практичного навчання водіїв з експлуатації ЗР, що використовуються у ПС ЗС України.

Список літератури

1. Біла книга-2011. Збройні Сили України. – К.: “Заповіт”, 2012. – 96 с.
2. Шевченко К.Л. *Можливості підготовки водіїв за допомогою сучасних комп'ютерних програм та тренажерно-моделюючих комплексів* / К.Л. Шевченко,

В.М. Горкун, С.І. Козулиця // *Вісник КНУТД*. – 2011. – №3. – С. 39 – 43.

3. Матвієвський О.М. *Методичний підхід до обґрунтування характеристик тренажерних засобів і систем* / О.М. Матвієвський, О.В. Герасименко, Ю.М. Щербанін // *Наука і оборона*. – 2005. – №1. – С. 59 – 65.

4. Руснак І.С. *Дидактичні засади загально технічних і програмно-математичних рішень сучасних навчально-тренувальних систем військового призначення* / І.С. Руснак, В.Л. Шевченко, Ю.І. Артемов // *Наука і оборона*. – 2002. – № 4. – С. 31 – 35.

5. *Положення по підготовці водіїв та інших фахівців автомобільної служби у Збройних Силах України та допуску їх до керування транспортними засобами, затверджене наказом МО України від 10.01.97р. №5.*

6. ДСТУ 3287-95. *Тренажери транспортних засобів. Терміни та визначення*. – К., 1997. – 22 с.

7. Жуков Г.П. *Военно-экономический анализ и исследование операций* / Г.П. Жуков, С.Ф. Видулов – М.: Воениздат, 1987. – 440 с.

Надійшла до редколегії 14.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ДИНАМИЧЕСКИМ ТРЕНАЖЕРАМ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВОДИТЕЛЕЙ СРЕДСТВ ПОДВИЖНОСТИ, КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В ВОЗДУШНЫХ СИЛАХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

А.Б. Куренко, И.В. Рогозин, Ю.Н. Рябуха

Разработаны требования к динамическим тренажерам для подготовки водителей средств подвижности, которые используются в Воздушных Силах Вооруженных Сил Украины. Полученные методические подходы целесообразно использовать при технико-экономическом обосновании применения динамических тренажеров вождения в учебном процессе.

Ключевые слова: водитель, динамические тренажеры вождения, динамическая платформа, средства подвижности, человеко-машинные системы.

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS TO THE DYNAMIC SIMULATORS FOR PREPARING PILOTS OF MOBILITY VEHICLES USED IN UKRAINIAN AIR FORCES

O.B. Kurenko, I.V. Rogozin, Y.M. Riabukha

Requirements to the dynamic simulators for preparing pilots of mobility vehicles used in Ukrainian Air Forces are developed. The obtained methodical approaches are of rational use when giving feasibility study of applying dynamic flying simulators in an educational process.

Keywords: pilot, dynamic flying simulator, dynamic platform, mobility vehicles, man-machine systems.