

## ПІДГОТОВКА ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

UDK 004.94: 623.4

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.78-86>

М.В. Чорний, О.М. Купріненко, Б.П. Матузко

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

### ФОРМАЛІЗАЦІЯ «ЕТАЛОННОГО» МЕХАНІКА-ВОДІЯ В СИСТЕМІ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БАЗОВОЇ ПІДГОТОВКИ З ВОДІННЯ БОЙОВИХ МАШИН НА ТРЕНАЖЕРАХ

*Розглянуто методичний підхід до формалізації дій механіка-водія бойової машини для формування системи оцінювання рівня базової підготовки з водіння з використанням тренажерів на основі математичної моделі людини-оператора теорії автоматичного керування. Проведено опис особливостей умов діяльності механіка-водія бойової машини та визначено структуру моделі. Проведено аналіз доробок у напрямку розробки моделі водія (механіка-водія) та здійснено вибір базової моделі для оцінювання водіння гусеничної та колісної бойової машини на основі імітаційного моделювання виконання тестового маневру.*

**Ключові слова:** математична модель, модель механіка-водія, тренажер водіння.

#### Постановка проблеми

Не викликає сумніву той факт, що ефективність застосування бойових машин залежить не тільки від технічних характеристик машини, а й від кваліфікації екіпажу. Зокрема, стосовно бойових швидкохідних машин показник керованості машини залежить від навченості, досвіду, фізичних та психофізіологічних властивостей механіка-водія. Складові зазначених категорій формуються в основному під час базової підготовки механіка-водія і включають уміння та навички стежити за дорогою за умов обмеженого спостереження, прогнозувати дорожні умови та завчасно здійснювати вплив на органи керування машиною відповідно до умов руху, технічних особливостей машини та власного досвіду.

Як правило, основи базової підготовки механіка-водія в сучасній системі підготовки формуються під час навчання на тренажерах [1, 2]. На базі тренажерів організовується формування не тільки моторних навичок роботи з органами керування бойовою машиною, а і навичок з її керування. Прищеплюються вербальні навички з оцінки дорожніх ситуацій, відчуття габаритів машини, радіусів повороту, гальмівного шляху тощо.

Оцінювання рівня базової підготовки під час виконання вправи з водіння на тренажерах покладено на інструктора (суб'єктивна складова оцінювання) та систему контролю (об'єктивна складова оцінювання). Система контролю тренажера в основному відслідковує взаємодію машини з об'єктами віртуальної траси і перешкодами та її режим руху залежно від положень органів керування, а оцінювання виконання

базових елементів в керуванні машиною та набутих механіком-водієм умінь і навичок ґрунтується на досвіді та техніці водіння самого інструктора, що, у свою чергу, з різних причин не завжди може бути еталоном. Це зменшує об'єктивність оцінювання загалом.

Отже, на наш погляд, існує певна прогалина в об'єктивному оцінюванні базової підготовки механіка-водія за показниками оволодіння визначеними вміннями та навичками. Особливо це проявляється під час доповнення базової імітаційної моделі виконання вправи на тренажерах моделями ситуаційних завдань (аварійних ситуацій).

Наведене вище вимагає впровадження технологій автоматизованого оцінювання дій механіка-водія при проходженні ділянок траси віртуального маршруту та реалізацію їх в системі контролю тренажера. Складовими елементами такої системи оцінювання є: система контролю дій органами керування машиною; модель руху бойової машини; модель місцевості, по якій відслідковується рух машини; система взаємодії машини з об'єктами віртуальної траси танкодрому та колізій, а також модель «еталонного» механіка-водія, за якою буде контролюватися (оцінюватися) ефективність керування машиною за визначених умов руху віртуальної траси на основі інформації про дорожні умови та реакцію бойової машини на переміщення важелів (керма) в режимі стеження.

Якщо із вказаними вище першими елементами системи проблеми створення та реалізації в основному вирішені, то модель механіка-водія бойової машини викликає дискусії щодо її реалізації.

Отже, виникає необхідність у формуванні системи оцінювання рівня базової підготовки механіка-водія на основі моделі його «еталонних» дій та кількісного визначення вимог до швидкості його адаптації до ситуації на трасі відповідно до рівня його натренованості.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У контексті зазначеної тематики в роботах [3–20] визначені підходи до формування моделі механіка-водія бойової машини. Зокрема, вважається, що актуальним напрямом математичного аналізу в оцінюванні поведінки механіка-водія є використання передатних функцій на основі певних уявлень про процеси, що характеризують роботу механіка-водія як елемента контуру стеження:

- механік-водій є аналогом автоматичного керуючого пристрою, що забезпечує визначену якість процесу керування, деякі параметри моделі якого можна рахувати апріорно відомими, а деякі, що характеризують адаптацію навичок після навчання і тренування, необхідно визначати із умови мінімуму інтегральної оцінки якості систем керування;

- механік-водій у перехідному процесі в основному поводить як реальна інтегруюча ланка;

- роздільна здатність сітчатки ока, передача сигналу до головного мозку, відпрацювання сигналів керування, передача сигналів до виконавчого органу і проходження сигналу зворотного зв'язку здійснюються з деякою затримкою. Затримка виконання відповідних дій на стимул, що виникає, не є постійною величиною, вона змінюється залежно від умов роботи та індивідуальних особливостей механіка-водія;

- у першому наближенні за відносно вузького діапазону руху виконавчого органу механіка-водія можна вважати лінійною системою, що дозволяє проводити аналіз якості стеження методами лінійних систем автоматичного керування;

- механік-водій є досить пластичною ланкою і, зазвичай, адаптує свою передатну функцію (структуру і параметри) до амплітудно-частотної характеристики вхідного сигналу;

- спостереження помилки стеження у часі супроводжується оцінкою швидкості її зміни, що дозволяє створити уяву про величину значення помилки упередження на час упередження;

- механік-водій включає у процес стеження не тільки зорову інформацію, але й сигнали органів рівноваги, що підвищує точність стеження.

Розглянуті варіанти підходів та запропоновані у зазначених роботах математичні моделі механіка-водія як людини-оператора адаптовані для певного різновиду ситуацій з широким колом обмежень та припущень, що не забезпечує їх ефективної реалізації в системі оцінювання рівня базової підготовки з водіння.

**Метою статті** є формалізація базової моделі механіка-водія для реалізації її в системі оцінювання рівня оволодіння практичними навичками базової підготовки з водіння бойових машин на тренажерах озброєння і військової техніки на основі аналізу існуючих моделей теорії автоматичного керування.

### Виклад основного матеріалу

Система оцінювання рівня базової підготовки механіка-водія бойової машини в своїй основі передбачає наявність математичної моделі людини-оператора (рис. 1), яка б адекватно відтворювала його реакцію на ситуацію на маршруті руху. В напрямку моделювання людини-оператора, зокрема механіка-водія, існує певна кількість ґрунтовних розробок, основні з яких взяті для розгляду та аналізу в цій статті.

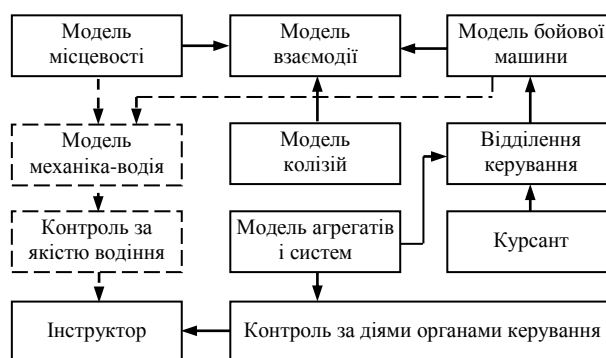


Рис. 1. Загальний вигляд системи оцінювання рівня базової підготовки механіка-водія

У контексті визначення особливостей діяльності механіка-водія як людини-оператора можна зазначити, що на ефективність керування бойовою машиною впливають технічний стан самої машини, видимість і оглядовість, лінійні, кутові, вертикальні та відцентрові прискорення, зручність сидіння, зусилля на важелях і педалях, тривалість безперервної роботи, несприятлива дорожня і складна бойова обстановка (рис. 2) [2].



Рис. 2. Фактори, які впливають на умови роботи механіка-водія

Як наслідок, зростає латентний період часу реакції механіка-водія, знижується точність дій і порушується координація рухів. Опір організму водія стомленню залежить від його індивідуальних особливостей і натренованості у виконанні бойових функцій.

Оснащення бойових машин спеціальним обладнанням, різноманітними системами і приладами вимагає у процесі руху від механіка-водія виконання низки різних рухових дій у складних сполученнях, що відрізняються за напрямком, величиною зусиль і часом впливу на органи керування. Одночасно йому необхідно періодично стежити за показаннями контрольно-вимірювальних приладів, сигнальними

пристроями і контролювати роботу двигуна, систем, що його обслуговують, агрегатів трансмісії та вузлів ходової частини.

Незважаючи на оснащення машин приладами індикації й елементами автоматики механік-водій у більшості випадків самостійно приймає рішення та реалізує його в часі й просторі. Конструкція системи керування машини зменшує витрату мускульної енергії, але не знижує психічного навантаження на механіка-водія. Дії механіка-водія спрямовані на досягнення загальної мети, що вирішують екіпаж і підрозділ. Оптимальне поєднання швидкості руху та ведення вогню досягається за умови злагоджених дій всіх членів екіпажу бойової машини (рис. 3) [2].

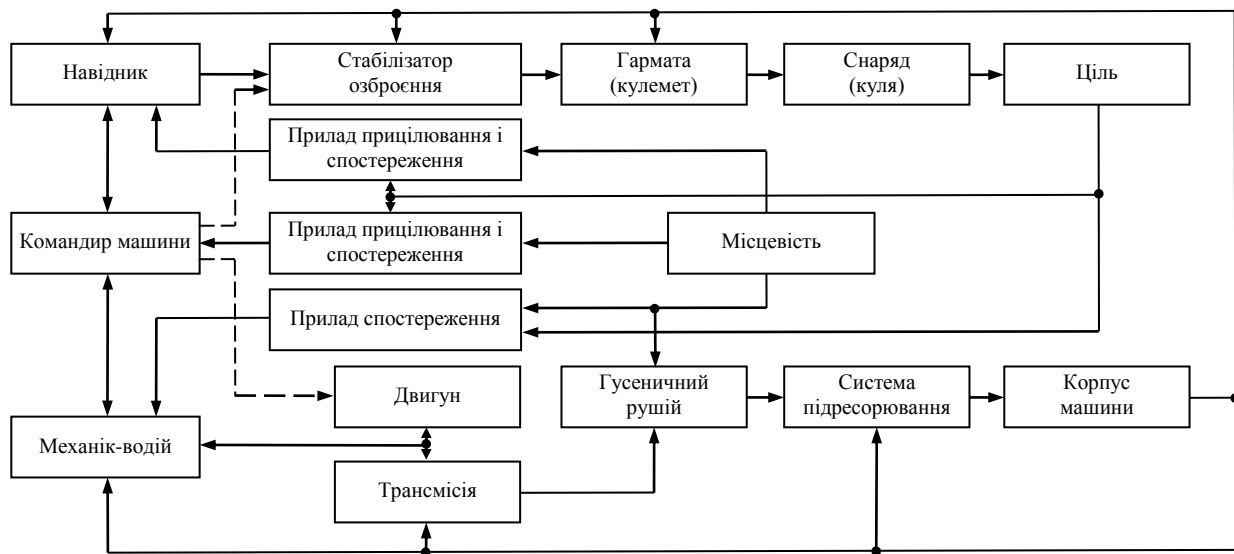


Рис. 3. Функціональна схема системи «екіпаж – бойова машина» у режимі керування рухом та ураження цілі

Механік-водій спостерігає за рельєфом місцевості, профілем колії, станом дороги, місцевими предметами й іншими машинами, з якими він зобов'язаний діяти спільно, та за показаннями контрольно-вимірювальних приладів для забезпечення безвідмовної роботи агрегатів і систем. Знаючи швидкісні можливості своєї машини у конкретній дорожній обстановці, характер поставленого бойового завдання й отримуючи від командира команди (сигнали), він діє на органи керування з метою оптимальної зміни швидкості та траєкторії руху і мінімізації вертикального прискорення корпусу для забезпечення плавності ходу машини.

Уся інформація і деякі інші відчуття поєднуються та переробляються механіком-водієм у відхиляючий сигнал по швидкості та траєкторії руху, що і є стимулом для відповідної реакції. Тривалість реакції водія на цілеспрямовану зміну режиму руху у випадку відхилення фактичної швидкості та траєкторії руху від необхідної складається із часу затримки сигналу на всіх етапах його обробки (табл. 1) [2, 16].

Різниця у часі реакції пояснюється як індивідуальними особливостями людського організму, так і рівнем професійних знань, умінь і навичок (табл. 2) [2].

Таблиця 1

#### Тривалість етапів реакції оператора транспортного засобу

Етапи	Орієнтовна тривалість згідно з [2]	Орієнтовна тривалість згідно з [16]
Передача сигналу від органів контролю (зір, слух, відчуття) до мозку	у середньому 0,2 с	0,15...0,3 с
Узагальнення отриманої інформації	0,5...1,5 с	0,15...0,2 с
Прийняття рішення	0,5...1 с	до 1 с
Дії щодо реалізації ухваленого рішення	0,3...1 с	0,1...0,2 с

Таблиця 2

#### Час реакції механіків-водіїв різної кваліфікації

Кваліфікація механіка-водія	Періоди реакції		Загальна реакція
	латентна	моторна	
Третій клас	0,72 с	0,71 с	1,43 с
Другий і перший класи	0,51 с	0,55 с	1,06 с
Майстер	0,36 с	0,50 с	0,86 с

Доречно також зазначити, що зі збільшенням швидкості руху машини зменшується поле концентрації уваги, що призводить до погіршення сприйняття ділянок дороги, які знаходяться поза цим полем, а необхідний час на сприйняття й осмислювання інформації, ухвалення рішення та реалізацію відповідної дії різко скорочується. Особливо це актуально для механіка-водія бойової машини, який діє за умов обмеженої оглядовості (табл. 3), що впливає на формування параметрів моделі.

Таблиця 3

**Технічна характеристика  
приладів спостереження механіка-водія**

Технічна характеристика	Марка приладів спостереження			
	ТНПО-168В	ТНПО-160	ТНПО-170А	ТНПО-115
Кут поля зору у горизонтальній площині	58°	36°	44°	42°
Кут поля зору у вертикальній площині	6°	5°	5,5°	5,3°
Кут біноклярного поля зору	32°	12°	14°	11°

Отже, у загальному випадку дії механіка-водія є реакцією на вхідну інформацію, що надходить у вигляді різноманітних сигналів і відчуттів [2]:

- візуальна (характер шляху, обстановка на маршруті, світлові сигнали, дорожні знаки і покажчики, положення своєї машини й інших об'єктів на дорозі, сигнали регулювальника тощо);

- вестибулярна або тактильна (поздовжнє, вертикальне і поперечне перевантаження, крен, коливання, вібрації, юз і занос машини);

- акустична (рівень і тембр шуму роботи агрегатів і механізмів, звукові сигнали та шум інших машин, команди по засобах зв'язку, вогневий вплив противника);

- механічна (прикладені до важелів повороту або до керма зусилля, опір натисканню педалей, зусилля на вимикачі або рукоятці).

На підставі зазначеного вище аналізу доробок визначено [3–20]:

- для математичного моделювання механіка-водія враховуються в основному його властивості щодо адаптації та часу реакції, які розглядаються в періодах отримання вхідного сигналу, прийняття рішення і здійснення відповідної дії;

- використовують лінійні (квазілінійні) моделі людини-оператора, бо нелінійні моделі не показали доцільності реалізації для вирішення інженерних завдань;

- структуру та параметри моделі механіка-водія визначає вибраний тип стеження залежно від змісту наданої інформації;

- загальноприйняті квазілінійні моделі людини-оператора (наприклад, модель J. Henderson

$$W_{MB}(s) = \frac{K_O \cdot (1 + T_3 \cdot s)}{(T_1^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T_1 \cdot s + 1) \cdot s} \cdot e^{-T_4 \cdot s}, \quad (1)$$

модель P. Mc Ruer і E. Krendel

$$W_{MB}(s) = \frac{K_O \cdot (1 + T_3 \cdot s)}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s)} \cdot e^{-T_4 \cdot s}, \quad (2)$$

модель D. Weir, D. McRuer та H. Jex, модель I. Цибулевського

$$W_{MB}(s) = \frac{e^{-T_4 \cdot s}}{(1 + T_1 \cdot s)^2}, \quad (3)$$

де  $K_O$  – коефіцієнт передачі пропорціональної ланки, що описує зусилля оператора під час керування транспортним засобом;

$T_1$  – стала часу аперіодичної ланки, що характеризує інерційність розумових процесів оператора;

$T_2$  – стала часу аперіодичної ланки, що характеризує інерційність дій оператора при фільтрації подій;

$T_3$  – стала часу форсувальної ланки, що визначає здатність оператора компенсувати запізнення своєї реакції та інерцію в створенні ефективних дій та характеризує прогностичні властивості щодо зміни вхідного сигналу;

$T_4$  – стала часу ланки із запізненням, що характеризує інерцію дій оператора відносно отриманих команд,

тощо) не можуть у класичному вигляді використовуватися для опису механіка-водія бойової машини.

У класичній інтерпретації модель оператора транспортного засобу подається у вигляді трьох послідовно з'єднаних ланок (рис. 4), які характеризують передатними функціями процес прийому інформації  $W_I$ , її обробки та прийняття рішення  $W_P$  і виконання визначених дій  $W_D$ .

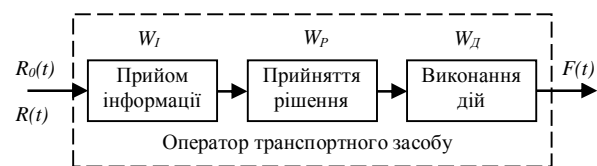


Рис. 4. Структурна схема лінійної моделі оператора транспортного засобу

Контур керування транспортним засобом за такою структурою і з реалізацією моделі (2) наведений на рис. 5 а.

Найбільш близькими для вирішення поставленого завдання є математичні моделі людини-оператора (водія, механіка-водія), побудова яких розглянута у роботах [6–10, 13–20]. Людина, що керує транспортним засобом, в них представлена оператором, який реалізовує супроводжувальне стеження з передбаченням, коли аналізується вхідний сигнал і передбачається його зміна на деякий відрізок часу вперед та сигнал про поточне положення машини.

У роботі [16] (рис. 5 б) модель сформовано з врахуванням ентропії дорожньої обстановки на основі доповнення інтегрально-диференціовальної ланки моделей роботи [14, 15] ще однією інерційною ланкою, яка описує сприйняття водієм інформації про ділянку дороги, що знаходиться в межах поля зору. Модель адаптована автором для опису керуючих дій водія з вибору швидкості руху відповідно до інформації дорожнього середовища.

У роботі [17] автор розглядає моделі людини-оператора, які базуються на зазначених вище класичних моделях (1), (2) та описані з використанням ряду ортогональних  $G$ -функціоналів Вінера з врахуванням його динамічних характеристик. Проведений автором порівняльний аналіз підтверджує висновок щодо наближеного оцінювання діяльності оператора за цими моделями, які не враховують цілого ряду особливостей його діяльності.

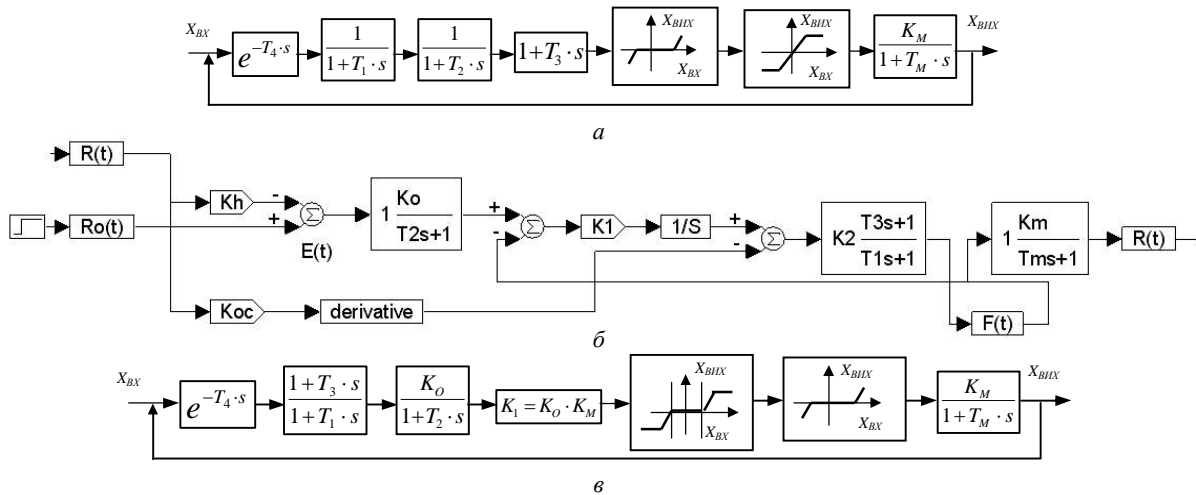


Рис. 5. Структура моделі оператора транспортного засобу

Модель в роботі [18] (рис. 5 в) в основному ґрунтується на моделі (2) з деяким уточненням її параметрів з врахуванням динамічних властивостей водія як нелінійної системи та направлена для вирішення завдання забезпечення керованості автомобіля на поворот керма в режимі «стеження».

Підхід до опису діяльності водія в роботі [19] ґрунтується на поєднанні передатної функції водія і транспортного засобу з врахуванням кореляційної функції курсового кута руху автомобіля та взаємних кореляційних функцій курсового кута руху автомобіля і кута повороту керуючих коліс вигляду

$$W_{MB}(s) = \frac{1 - \frac{T_4 \cdot s}{2}}{1 + \frac{T_4 \cdot s}{2}} \cdot \frac{T_3 \cdot s + 1}{T_1^2 \cdot s^2 + 2T_1 \cdot \xi_1 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_O}{T_2^2 \cdot s^2 + 2T_2 \cdot \xi_2 \cdot s + 1} \quad (4)$$

Автор роботи [20] стверджує про значні похибки моделі (4) та пропонує динамічну модель водія на основі типових ланок теорії автоматичного керування, яка подана сумою аперіодичної ланки та двох коливальних ланок вигляду

$$W_{MB}(s) = \frac{K_1}{T_1 \cdot s + 1} + \frac{K_2 \cdot s}{T_{22} \cdot s + T_{12} \cdot s + 1} + \frac{K_3 \cdot s}{T_{23} \cdot s + T_{13} \cdot s + 1} \quad (5)$$

Зазначені вище передатні функції побудовані з врахуванням в якості вхідного та вихідного параметрів кута повороту рульового колеса та керуючих коліс відповідно, що не в повному обсязі характеризує дії механіка-водія гусеничної машини, яка веде себе в повороті по іншому.

Роботи [7–10] спрямовані безпосередньо на уточнення моделі механіка-водія гусеничної машини, що відображає особливості керування нею під час криволінійного руху.

Зокрема, в роботі [7] властивість механіка-водія як комплексу обробки інформації відтворюють у передатній функції

$$W_{MB1}(s) = \frac{K_1 \cdot s}{1 + T_1 \cdot s}, \quad (6)$$

яка характеризує процес порівняння водієм кривизни траєкторії руху центра ваги бойової машини і заданої та відтворює врахування ним швидкості зміни кривизни траєкторії маршруту, що забезпечує здійснення механіком-водієм попереджувальних дій.

Властивість механіка-водія як виконавчого елемента, що здійснює керування бойовою машиною на основі отриманої інформації, відтворені у передатній функції

$$W_{MB2}(s) = \frac{K_2 \cdot (1 + T_3 \cdot s)}{(1 + T_2 \cdot s) \cdot s} \cdot e^{-T_4 \cdot s}, \quad (7)$$

яка враховує процес нейромускульного впливу на виконавчі пристрої.

У роботі [10] запропоновано виключити з моделі механіка-водія ланку чистого запізнення, на основі міркування щодо передбачення ним зміни вхідного сигналу і, знаючи, що йому неможливо відреагувати на нього миттєво, починає змінювати траєкторію руху машини завчасно, здійснює керування машиною з попередженням, компенсуючи при

цьому нейромускульне запізнення своєї реакції. У подальших дослідженнях [10] запропоновано врахувати в моделі стохастичність керуючих дій «середньостатистичного» механіка-водія, у зв'язку з нестабільністю його психофізіологічного стану, за допомогою введення в запропоновану модель стаціонарного білого шуму (рис. 6).

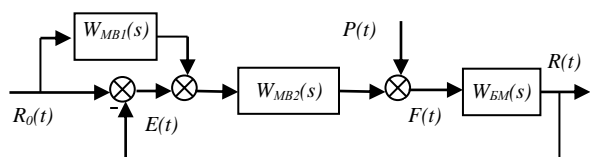


Рис. 6. Загальний вигляд моделі механіка-водія із стохастичністю керуючих дій:

$F(t)$  – кут повороту керма (переміщення важеля);  
 $R_0(t)$  – кривизна траєкторії маршруту;  $R(t)$  – кривизна траєкторії руху центра ваги бойової машини;  $E(t)$  – неузгодженість траєкторії руху машини відносно кривизни маршруту;  
 $P(t)$  – випадкова складова реакції механіка-водія

Для вибору базової моделі проведено дослідження поведінки моделей механіка-водія шляхом аналізу їх реакції на одиничний імпульс, що імітує епізод входу в поворот (тестовий маневр) з кривизною лінії маршруту  $0,06 \text{ м}^{-1}$ .

Моделювання реакції моделей механіка-водія [3–20] реалізоване в системі VisSim за параметрами табл. 4, результати роботи у вигляді графіків наведені на рис. 7.

Таблиця 4

Значення параметрів моделі механіка-водія

Параметри моделі	Структура моделі за роботами			
	[13]	[3-5]	[17]	[19]
$T_1$	0,2	0,1	0,27...0,4	0,25
$T_2$	-	0,6...2	0,1...0,2	0,15
$T_3$	1	0,25...2,5	0,2...0,3	0,5
$T_4$	0,2	0,13...0,2	0,1...0,25	0,3
$K_O$	10	10...100	0,25...0,33	0,025
$K_1$	-	-	-	-
$K_2$	-	-	-	-
$\zeta$	0,4	-	0,6	0,25/0,9

Параметри моделі	Структура моделі за роботами				
	[16]	[7]	[10]-1	[10]-2	[10]-3
$T_1$	0,2	0,83	0,82	0,82	0,002
$T_2$	0,6	3,33	4	4	0,2
$T_3$	0,5	1,24	1,24	1,24	0,06
$T_4$	-	0,12	-	-	-
$K_O$	10	-	-	-	-
$K_1$	1	0,83	1	1	1
$K_2$	2	10	10	10	6,5
БШ(МО/СКВ)	-	-	-	0,2/0,08	-

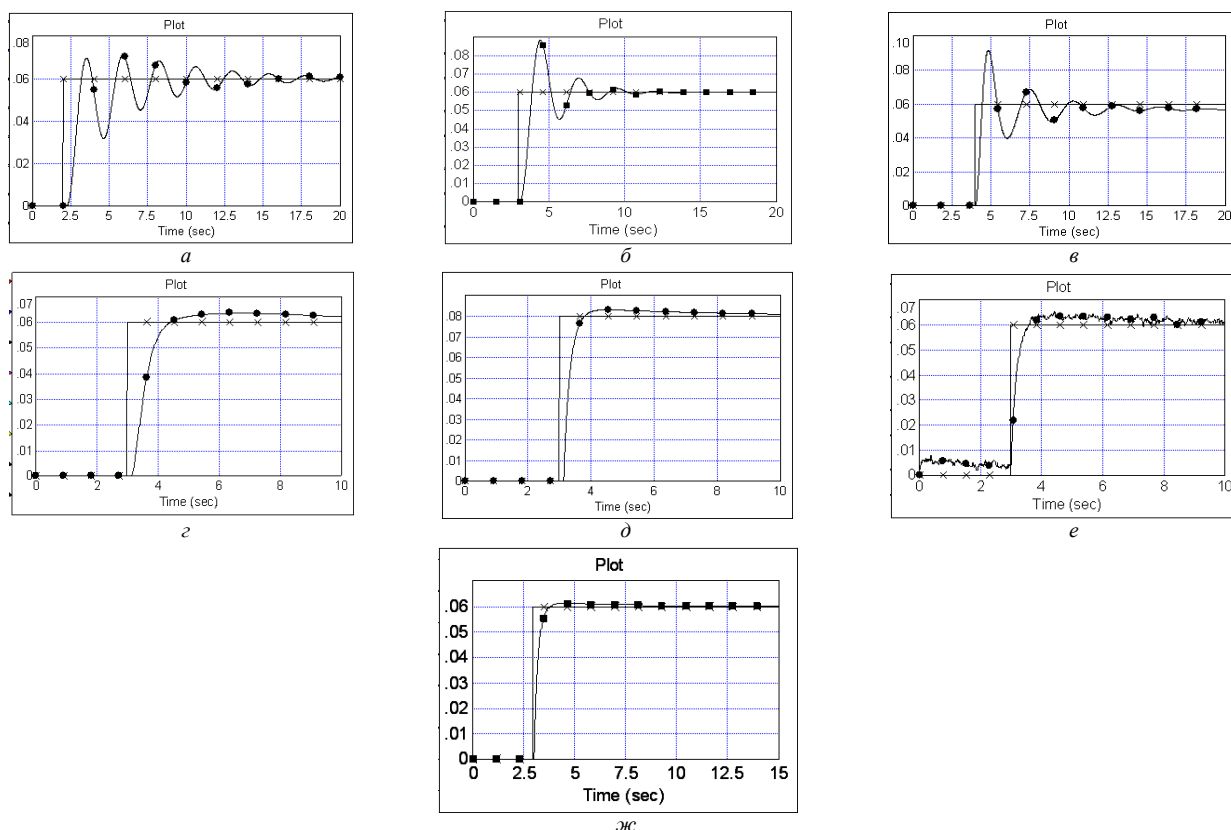


Рис. 7. Результати моделювання виконання тестового маневру:

$a$  – результат за параметрами моделі роботи [13];  $б$  – результат за параметрами моделі роботи [16];  $в$  – результат за параметрами моделі роботи [17, 19];  $г$  – результат за параметрами моделі роботи [7];  $д$  – результат за параметрами моделі роботи [10] без ланки чистого запізнення;  $е$  – результат за параметрами моделі роботи [10] з урахуванням випадкової складової реакції;  $ж$  – результат за параметрами моделі роботи [10], які розраховані програмно

За результатами моделювання виконання тестового маневру можливо зазначити, що моделі, запропоновані в роботах [7–10], найбільш наближені до типової реакції людини-оператора, яка може бачити наближення ступінчастого сигналу до його прояву, що найбільш часто трапляється у повсякденному житті.

Моделі в роботах [13–20] описують типову реакцію оператора, що характеризується системою другого порядку з малим демпфіруванням.

Залишається відкритим питання щодо визначення числових значень параметрів моделей відповідно до типу бойової машини, фізичних і професійних можливостей людини та з врахуванням впливу на них зазначених вище умов діяльності. В роботах, що розглядалися, автори деякі параметри вважають априорно відомими за результатами експериментальної оцінки, решту пропонують налаштувати під умови завдання керування за загальноприйнятими критеріями, враховуючи те, що людина адаптивна і після тренувань може набути відповідні навички для керування машиною з визначеною якістю.

Зокрема, у більшості робіт цього напрямку визначення параметрів, що характеризують адаптивні властивості механіка-водія, пропонується визначати за критерієм мінімуму покращеної інтегральної квадратичної оцінки виду

$$I = \int_0^{\infty} (\varepsilon^2 + T^2 \cdot \dot{\varepsilon}^2) dt \rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $\varepsilon$  – відхилення величини, що регулюється, в перехідному процесі від її нового значення, що встановилося,

$T$  – стала часу, величина якої визначається з умови бажаної якості перехідного процесу системи.

## Висновки

Математична формалізація процесу формування навичок водіння на основі вихідних показників (швидкість руху, безпомилковість і надійність дій), що характеризують цей процес кількісно, дозволяє вирішувати такі важливі практичні завдання, як удосконалення методики навчання водінню, обґрунтування раціонального комплексу практичних вправ на тренажерах, послідовності та періодичності виконання окремих прийомів керування в різних ситуаціях, визначення обсягу тренувань, що забезпечують перетворення раціональних дій у навички, а також підтримка останніх на необхідному рівні протягом тривалого часу. Поряд із цим створюються умови для прогнозування результатів навчання як окремих фахівців, так і підрозділу загалом.

Моделі в роботах [14–20] здебільшого адаптовані для опису водія колісного транспортного засобу

і можуть бути використані для моделювання водія бронетранспортера з урахуванням деяких особливостей його функціонування та уточнення параметрів моделі.

Модель в роботі [10] забезпечує вимоги до якості процесу управління стосовно часу перехідного процесу з параметрами, які характеризують управління гусеничної машини типу БМП (МТ-ЛБ), що дає можливість застосування її в якості базової для формалізації «еталонного» механіка-водія в системі оцінювання тренажера.

Напрямом подальших досліджень є визначення значень параметрів моделі відповідно до типу бойової машини, рівня психологічних властивостей і підготовки механіка-водія та з врахуванням впливу на нього умов діяльності.

## Список літератури

1. Курс водіння бойових машин Сухопутних військ Збройних Сил України (КВБМ СВ-99). – К.: ЛК Мейкер, 2005. – 116 с.
2. Водіння бойових машин: навчально-методичний посібник / П.П. Ткачук, М.В. Чорний, Р.В. Долгов, С.С. Степанов, А.Т. Николаєв, Ю.О. Вяткін. – Львів: Національна академія сухопутних військ, 2016. – 292 с.
3. Дружинин Г.В. Учет свойств человека в моделях технологий / Г.В. Дружинин. – М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2000. – 327 с.
4. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы / И.Е. Цибулевский. – М.: Наука, 1981. – 288 с.
5. Шеридан Т.Б. Системы человек-машина: модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Т.Б. Шеридан, У.Р. Феррел; под ред. К.В. Фролова; пер. с англ. А.А. Кобринского. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.
6. Кондаков С.В. Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путем автоматизации системы управления криволинейным движением: моногр. / С.В. Кондаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 108 с.
7. Имитационное моделирование движения быстроходной гусеничной машины механиком-водителем / С.В. Кондаков, Н.Н. Корнаева, О.О. Павловская, С.И. Черепанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2010. – Вып. 16. – № 29(205). – С. 59–64.
8. Кондаков С.В. Исследование подвижности быстроходной гусеничной машины при движении по заданной трассе / С.В. Кондаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2010. – Вып. 15. – № 10 (186). – С. 63–66.
9. Павловская О.О. Методы определения параметров линейной математической модели человека-оператора / О.О. Павловская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – Вып. 5. – № 7 (79). – С. 41–44.
10. Павловская О.О. Алгоритм определения параметров математической модели механика-водителя, управляющего криволинейным движением быстроходной

- гусеничной машины / О.О. Павловская, С.В. Кондаков // Вестник ЮУрГУ, Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» – Вып. 15. – № 3. – 2012. – С. 43–47.
11. Жабреев В.С. Модели и оценка человеческого фактора больших систем: учебное пособие / В.С. Жабреев, О.О. Павловская, К.В. Федяев. – Челябинск: Челяб. ин-т путей сообщения, 2007. – 219 с.
12. Красенькое В.И. Имитационное моделирование движения транспортной гусеничной машины и оценка ее реакций на возмущения / В.И. Красенькое, С.А. Харитонов, А.В. Кузьякин // Вопросы расчета и конструирования гусеничных машин: труды МВТУ № 506. – М. – 1988. – С. 126–160.
13. Благодрагов А.А. Динамика управляемого движения гусеничной машины: учеб. пособие / А.А. Благодрагов, В.Б. Держанский. – Курган: Изд-во Курганского машиностроительного института, 1995. – 162 с.
14. Ганэ В.А. Моделирование эффективности управления автотранспортным средством по каналу направления движения / В.А. Ганэ, С.А.О. Дияб Абдалах // Вестник БНТУ. – № 1. – 2011. – С. 31–35.
15. Ганэ В.А. Моделирование эффективности управления автотранспортным средством по каналу управления скоростью движения / В.А. Ганэ, С.А.О. Дияб Абдалах // Доклады БГУИР. – № 3 (49). – 2010. – С. 77–80.
16. Кульбашина Н.И. Разработка модели выбора скорости движения водителем с учетом дорожной обстановки / Н.И. Кульбашина, К.А. Сорока // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Том 3. – Вып. 2 (81). – Харьков: НПП ЧП «Технологический Центр». – 2016. – С. 22–28.
17. Благая Л. В. Математичні моделі діяльності людини-оператора в авіаційних ергатичних системах / Л.В. Благая, С.В. Павлова // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – 2014. – Т. 18. – С. 12–20.
18. Осташиевский С.А. Определение понятий «управляемость автомобилей» и «вождение машины» в системе «водитель-автомобиль-дорога» / С.А. Осташиевский // Вестник ХНАДУ. – 2013. – Вып. 61–62. – С. 300–305.
19. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
20. Санкин Ю.Н. Курсовая устойчивость автомобиля с учётом динамических характеристик водителя / Ю.Н. Санкин, А.В. Калёнов // Вестник УлГТУ. – № 1. – 2006. – С. 35–38.

#### **Формализация «эталонного» механика-водителя в системе оценивания уровня базовой подготовки по вождению боевых машин на тренажерах**

Н.В. Чёрный, А.Н. Куприненко, Б.П. Матузко

Научная задача статьи посвящена формализации действий эталонного механика-водителя боевой машины для реализации его в системе, которая оценивает уровень базовой подготовки по вождению на тренажере на основе анализа существующих моделей человека-оператора транспортных средств.

Суть исследования заключается в описании условий функционирования механика-водителя боевой машины, в определении и анализе факторов, которые влияют на них, анализе существующих подходов в построении модели оператора транспортного средства и выборе на его основе базовой модели по результатам моделирования реакции модели на единичный сигнал.

Для решения поставленной задачи использовались методы теории автоматического управления и имитационного моделирования.

В результате исследования была уточнена структура математической модели механика-водителя боевой машины по результатам анализа существующих моделей оператора транспортного средства с использованием типичных звеньев теории автоматического управления, определены ее базовые параметры на основе исследования реакции на единичный импульс, который имитирует входение машины в поворот (тестовый маневр). Конкретизировано группу моделей для их дальнейшего использования в системе оценивания действий механика-водителя колесной и гусеничной боевой машины. Определена концептуальная структура системы, которая оценивает уровень подготовки механика-водителя для тренажера вождения.

Направление дальнейших исследований – определение значений параметров модели в соответствии типа боевой машины, уровня психофизиологических свойств механика-водителя и влияния на них условий функционирования.

Предлагаемый в статье подход к формированию системы, которая оценивает уровень базовой подготовки по вождению на тренажере на основе модели механика-водителя боевой машины, может использоваться для повышения объективности аттестации уровня подготовки, обоснования рационального комплекса практических упражнений, последовательности и периодичности выполнения приемов управления в разных ситуациях, определение объема тренировок, прогнозирования результатов обучения.

**Ключевые слова:** математическая модель, модель механика-водителя, тренажеры вождения.



---

**Formalization of the «standard» mechanic-driver in the system of assessment of the basic preparation level on driving combat vehicle on the simulator**

---

M. Chornyi, O. Kuprinenko, B. Matuzko

*The scientific task of the article is devoted to the formalization actions of the reference mechanic-driver of a combat vehicle for its implementation in a system that evaluates the level of basic training from driving on the simulator based on an analysis of existing models of the human operator of vehicles.*

*The essence of the study is to describe the operating conditions of the mechanic-driver of a combat vehicle, to determine and analyze the factors that affect them, to analyze existing approaches to building a model of a vehicle operator and to select a base model based on it to model the reaction of the model on a single signal.*

*To solve this problem, methods of the theory of automatic control and simulation were used.*

*As a result of the study, the structure of the mathematical model of the mechanic-driver of the combat vehicle was refined based on the analysis of existing models of the vehicle operator using typical links of the theory of automatic control, its basic parameters were determined based on the study of the response to a single impulse that simulates the vehicle entering a turn (test maneuver ) A group of models has been specified for their further use in the system for evaluating the actions of the mechanic-driver of a wheeled and tracked combat vehicle. The conceptual structure of the system is determined, which evaluates the level of training of the mechanic-driver for the driving simulator.*

*The direction of further research is to determine the values of the model parameters in accordance with the type of the combat vehicle, the level of psychophysiological properties of the mechanic-driver and the influence of functioning conditions on them.*

*The approach proposed in the article to the formation of a system that evaluates the level of basic training from driving on a simulator based on the model of the mechanic-driver of the combat vehicle can be used to increase the objectivity of certification of the level of training, justify a rational set of practical exercises, the sequence and frequency of performing control techniques in different situations, determination of the volume of training, forecasting the result of training.*

**Keywords:** *mathematical model, model of the mechanic-driver, driving simulator.*

---