

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛОГІКИ ПОВЕДІНКИ ОПЕРАТОРА
ЗРАЗКА АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ВИБОРУ
ШВИДКОСТІ РУХУ З УРАХУВАННЯМ ДОРОЖНЬОГО СПЕКТРА
ОПОРІВ**

С. О. ОСТАШЕВСЬКИЙ, доктор технічних наук, доцент

М. С. П'ЯТКОВ, ад'юнкт ад'юнктурі

*Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького*

E-mail: astash73@gmail.com, maksim-pjatkov@ukr.net

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.06.025>

***Анотація.** Достеменно відомо, що рухливість автобронетанкової техніки, (надалі АБТТ) – одна з основних вихідних величин при визначенні можливості виконання бойового завдання підрозділами. Точність та правильність її вибору і прогнозування визначає точність і правильність всіх оперативно-тактичних розрахунків, а моделювання дій водія АБТТ у сучасних умовах організації службово-бойової діяльності, дозволило б суттєво зменшити час на виконання відповідних розрахунків та дозволило б прийняти вірне рішення в обмежений час, виконати бойові накази старших командирів, тощо.*

Метою статті є проведення аналізу логіки поведінки оператора зразка АБТТ під час вибору швидкостей руху з урахуванням дорожнього спектра опорів для її математичного моделювання та використання даної моделі при оцінці рухомості автобронетанкової техніки при здійсненні маршруту підрозділами в умовах ускладнення обстановки.

У нашому дослідженні проведено аналіз логіки поведінки оператора зразку автобронетанкової техніки при виборі швидкостей руху з урахуванням дорожнього спектра опорів та застосовано математичні методи прогнозування, враховуючи відомий процес руху оператора при виборі передач та швидкості руху і визначено її як випадкову величину функції розподілу швидкості по маршруту.

За результатами аналізу зроблено припущення щодо основних законів розподілу швидкостей на низьких, середніх та високих передачах. За результатом проведеного дослідження доцільним вважається розробка математичної моделі логіки поведінки оператора зразку автобронетанкової техніки при виборі швидкостей руху з урахуванням дорожнього спектра опорів автобронетанкової техніки при здійсненні маршруту підрозділами в умовах ускладнення обстановки.

***Ключові слова:** автобронетанкова техніка, швидкість руху, опір дорожнього руху, закони розподілу неперервної випадкової величини*

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

Актуальність. При розробці нових зразків АБТТ одним з найважливіших завдань є прогнозування та оцінка рухомості автобронетанкової техніки, яка на сьогодні при оперативно – тактичних розрахунках визначається середньою швидкістю. Для збільшення рухомості в основному покращують питому потужність двигуна, систему управління, систему підресорювання [3,с.3]. Адже за високих швидкостей на місцевості оператор бойової машини вимушено має переходити на нижчі передачі через перевантаження або втому. Автор [7, с.1] пише, що «Водій характеризується витривалістю по відношенню до коливань та вібрацій, сприйняттям та реакцією, тобто враховується вплив фізичних даних водія на роботу машини»,тому існує значна необхідність моделювати поведінку оператора АБТТ у відповідності до реальних умов взаємодії суб'єкта та об'єкта експлуатації та визначати швидкісні режими. Крім того моделювання дій підлеглих у сучасних умовах організації службово-бойової діяльності, дозволило б суттєво зменшити час на прийняття вірного рішення, дозволило б вчасно виконати бойові завдання, накази старших командирів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моделювання поведінки

водія, як окремої компоненти для покращення рухомості автобронетанкової техніки було розглянуто в роботах закордонних вчених, таких як Jurkat M.P. [7, ст.390], Vozdech G.W.[6, с.202], в яких запропоновані шляхи покращення рухомості транспорту та приведено до прикладу світовий досвід, Попри це наведені моделі не мають навіть приблизних аналогів на теренах Батьківщини, в сучасних зразках АБТТ України.

Метою статті є проведення аналізу логіки поведінки оператора зразка АБТТ під час вибору швидкостей руху з урахуванням дорожнього спектра опорів для її математичного моделювання та використання даної моделі при оцінці рухомості автобронетанкової техніки при здійсненні маршу підрозділами в умовах ускладнення обстановки.

Матеріали і методи дослідження. Відповідно, до дослідження автора [7, ст.1] рухливості, з'ясовано, що при плануванні використання військових гусеничних та колісних машин необхідно мати прогнозуемі дані:

1)можливість реалізації заданих технічних характеристик конкретної машини при русі її в реальних умовах і оточуючих зовнішніх умов заданого географічного району

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

2) характеристику рухливості машин різних конструкцій на певній місцевості;

3) вплив окремих конструктивних змін на рухливість машин.

Для з'ясування можливості реалізації заданих технічних характеристик конкретної машини при русі її в реальних умовах і оточуючих зовнішніх умов необхідно мат уявлення про логіку поведінки водія при виборі швидкості руху з урахуванням даного дорожнього спектра опорів. Для цього застосуємо деяке спрощення умов, адже, по своїй суті це не змінить методіку розрахунків.

Розглянемо логіку оператора зразка АБТТ на певній ділянці маршруту з заданим спектром опорів руху, враховуючи те, що рух передбачається безперервним, а ділянка для даного руху буде обрана таким чином, що опір на ній та повороти можливо подолати без переходу на нижчу передачу, лише трохи знизивши швидкість, в межах можливостей даної передачі. Застосуємо математичні методи

$$f(v) = \begin{cases} \frac{1}{v_i - v_{i-1}} & \text{при } v_{i-1} < v < v_i \\ 0 & \text{при } v > v_i \text{ та } v < v_{i-1} \end{cases} \quad (1.1)$$

При цьому середня швидкість на нескінченній випадковій величині даних передачах буде рівна (надалі – НВВ), тобто: математичному очікуванню

$$v_c = M[v] = \int_{v_{i-1}}^{v_i} \frac{v \, d v}{v_i - v_{i-1}} = \frac{1}{2} v_i \left(1 + \frac{1}{q_i} \right) \quad (1.2)$$

прогнозування, враховуючи відомий процес руху оператора при виборі передач та швидкості руху і визначимо її як випадкову величину функції розподілу швидкості. Тобто, швидкість на i -тій передачі якимось випадковим чином буде приймати значення в межах від (v_{i-1}) до (v_i) .

Звісно, без статистичних даних про силу опору руху (P_ψ) або значень табличного коефіцієнта опору руху (ψ), неможливо точно встановити закон розподілу швидкостей на даній передачі, проте, за логічними міркуваннями можливо визначитись з певними законами розподілу та вирішити цю задачу з деяким наближенням. На нашу думку найбільш характерні з них це рівномірний та нормальний закон розподілу неперервної випадкової величини (надалі НВВ) в теорії ймовірностей.

Результати дослідження та їх обговорення. За рівномірного закону розподілу щільність розподілу швидкостей ($f(v)$) можна представити (рис. 1):

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

де, $q_i = \frac{v_i}{v_{i-1}}$ – це відношення між швидкостями сусідніх передач (при f_N), що визначається передаточними

числами коробки передач (надалі – КП).

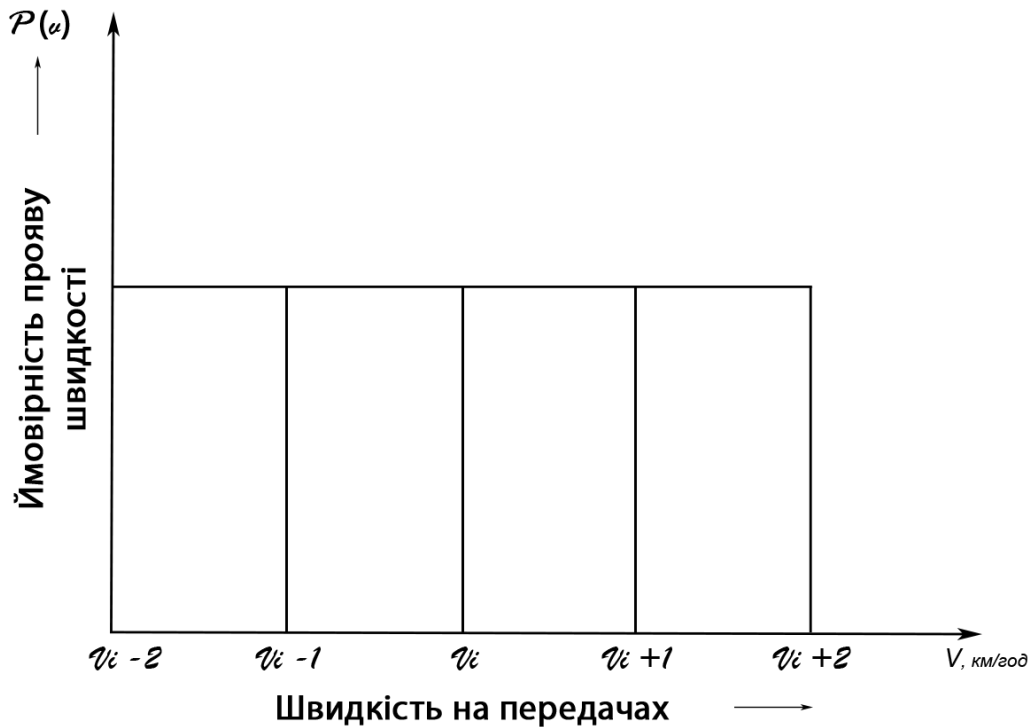


Рис. 1. Рівномірність щільності розподілу швидкостей від v_{i-2} до v_{i+2}

Під математичним очікуванням випадкової величини розуміємо суму добутків можливих значень випадкової величини на ймовірності цих значень:

$$M(v) = \sum_{i=1}^m v p_i \quad (1.3)$$

Математичне сподівання $M(v)$ виражаємо через щільність ймовірності:

$$M(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} v f(v) dv \quad (1.4)$$

При цьому будемо мати на увазі, що досліджувані величини, в першу

чергу дорожній опір (ψ), а в цьому дослідженні і величина (N_e) змінювалися від однієї ділянки маршруту до іншої. Відповідно змінювалась і середня швидкість (v_{cp}) яка визначається сумою впливу цих причин.

Такий розподіл швидкостей можливий у разі, коли дорожні опори (ψ_c) у межах ($\psi_{i+1} < \psi < \psi_i$) розподілені рівномірно, а запасу питомої сили тяги достатньо для

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

розгону на даній передачі, але не достатньо для того, щоб рухатися на більш високій ($i + 1$) передачі. Даний закон розподілу може бути

реалізований при русі в певних умовах на середніх передачах [1, с.3] (рис. 2)

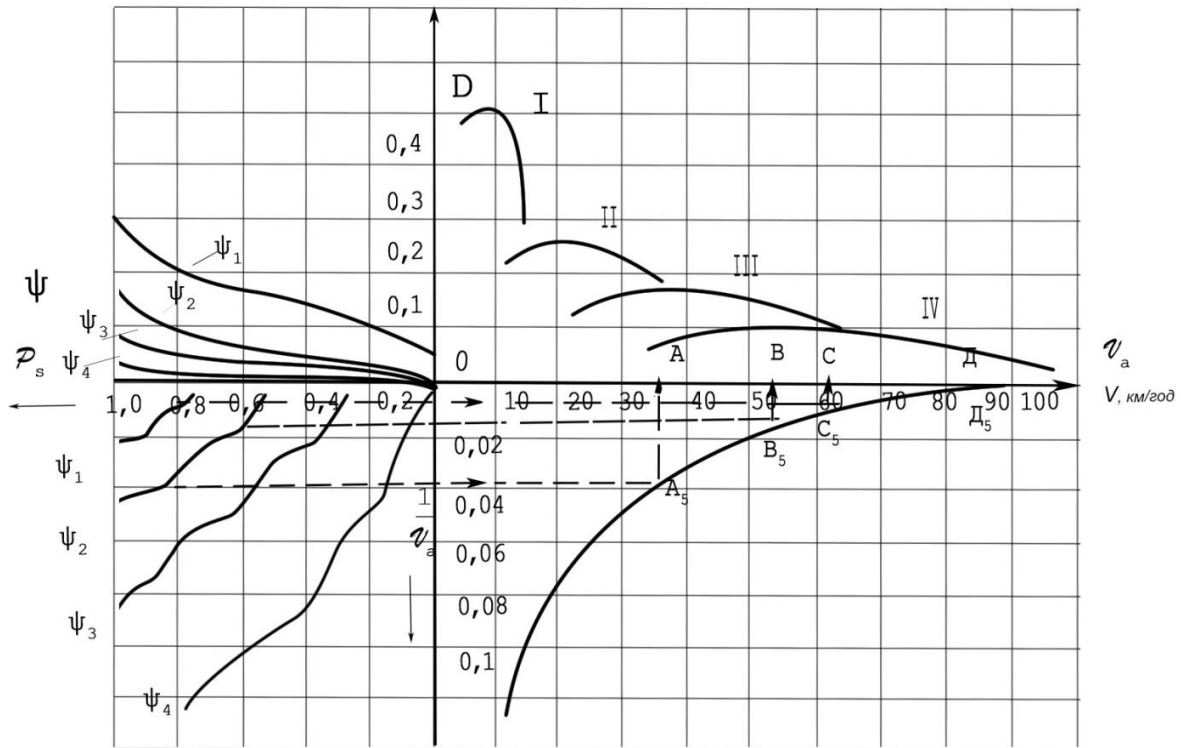


Рис. 1.2. Побудова кривих ймовірності розподілу величин зворотних швидкості руху зразка АБТТ ($\frac{1}{v_{абтт}}$) при подоланні опору дороги з коефіцієнтом ψ (по Д.А. Антонову)

На практиці більшість значень дорожніх опорів (ψ), що враховують рух на спусках і на підйомах, можуть бути обчисленні:

$$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha \tag{1.5}$$

$$\text{Або, при } (\alpha < 10^0): \psi = f \pm i \tag{1.6}$$

де, i – це величина нахилу.

Для виконання розрахунків слід наступний статистичний ряд (таблиця результати обчислень зводити в 1).

таблицю [4], яка являє собою

1. Метод представлення розрахункових даних для побудови статистичного ряду і відповідних опорів руху

v_0, v_1	v_1, v_2	...	v_{i-1}, v_i	...	v_{m-1}, v_m
p_1	p_2	...	p_i	...	p_m

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

Для нормального закону розподілу швидкостей можна представити (рис. 1.3, а):
 НВВ щільність розподілу

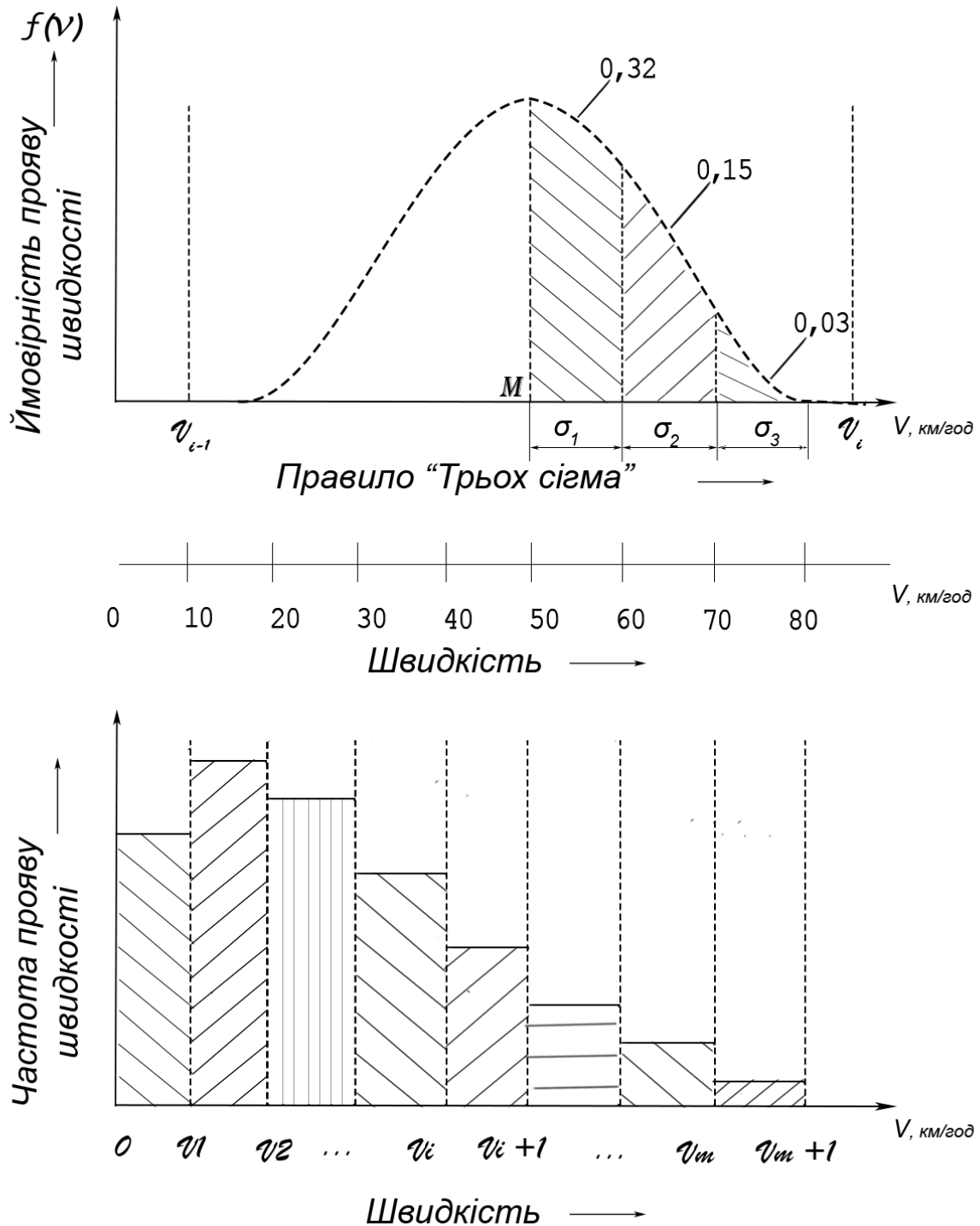


Рис. 3. Нормальний закон розподілу швидкостей, представлений у вигляді графіка (а) і гістограми (б)

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

$$f(v) = \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-m_v)^2}{2\sigma_v^2}} \quad (1.7)$$

З графіка видно, що математичне очікування значення середньої швидкості дорівнює:

$$v_c = M[v] = \frac{v_{i-1} + v_i}{2} = \frac{1}{2} v_i \left(1 + \frac{1}{q_i}\right) \quad (1.8)$$

Логіка оператора обґрунтовується як його природним прагненням вести машину зі швидкістю ($v > v_{i-1}$), так як швидкість (v_{i-1}) для і-тій передачі нестійка, так і відповідно методичних рекомендацій при веденні бою щодо максимальної швидкості руху колони [4, с.123-128], але при цьому швидкість (v_i) через ряд різних факторів досягається нечасто. Цей розподіл найбільше підходить для високих передач, коли запас динамічного фактора ($D = \frac{P_T - P_W}{mg}$)

невисокий, хоча і дозволяє водієві підтримувати швидкість ($v > v_{i-1}$), так як ($D > \psi$), але в той же час висока швидкість обмежується через нестачу питомої сили тяги та через втомляємось водія [2, ст.23].

У цьому випадку логіка поведінки оператора впливає з того, що розподіл швидкостей машин на і-ій дільниці маршруту на і-ій передачі матиме закон, близький до нормального, і може бути логічно (метод, прийнятий в алгебрі) описаний таким чином:

$$\begin{cases} \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-M_v)^2}{2\sigma_v^2}} & \text{при } v_{i-1} < v < v_i \\ 0 & \text{при } v > v_i \text{ и } v < v_{i-1}. \end{cases} \quad (1.9)$$

де, v – значення швидкості;

M_v – математичне сподівання швидкості;

σ_v – середнє квадратичне відхилення значення швидкості.

Як і в теорії руху машин, на маршруті з рухом бойових машин можуть реалізовуватися такі закони розподілу швидкостей зразків АБТТ (рис. 4).

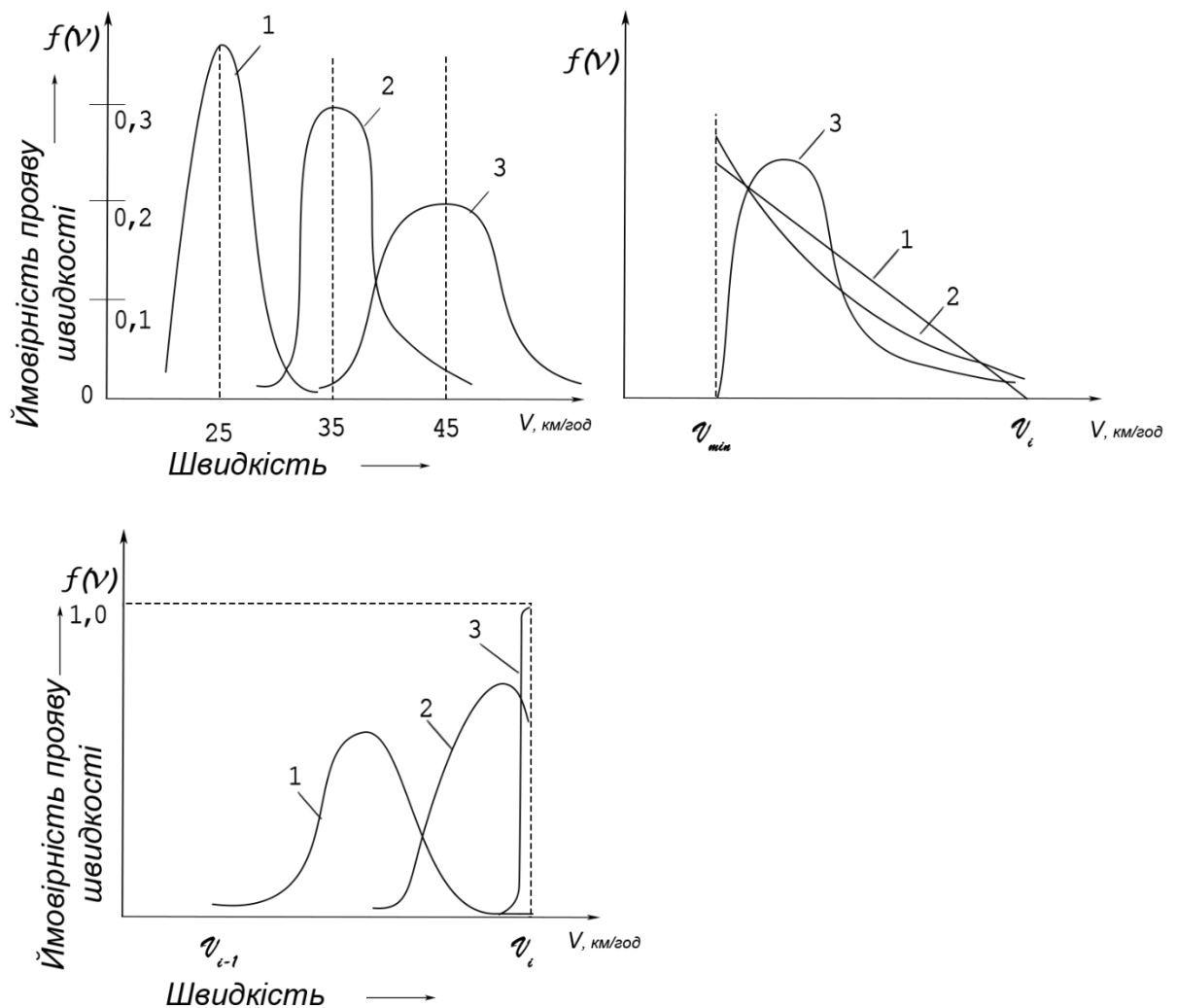


Рис. 4. Ймовірнісні закони розподілу швидкостей при русі зразка АБТТ на дорогах

а) при русі по дорогах з різним покриттям (1 - по бруківці; 2 - по ґрунтовій; 3 - з асфальтобетонним покриттям);

б) при русі в межах міста (1 - рівномірно регресуючий; 2 - експоненціальний; 3 - гамма-розподіл);

в) при русі по дорогах (1 - звичайне покриття; 2 - добре упорядковане покриття; 3 - при використанні технічних можливостей зразка АБТТ на досягнення максимальної швидкості).

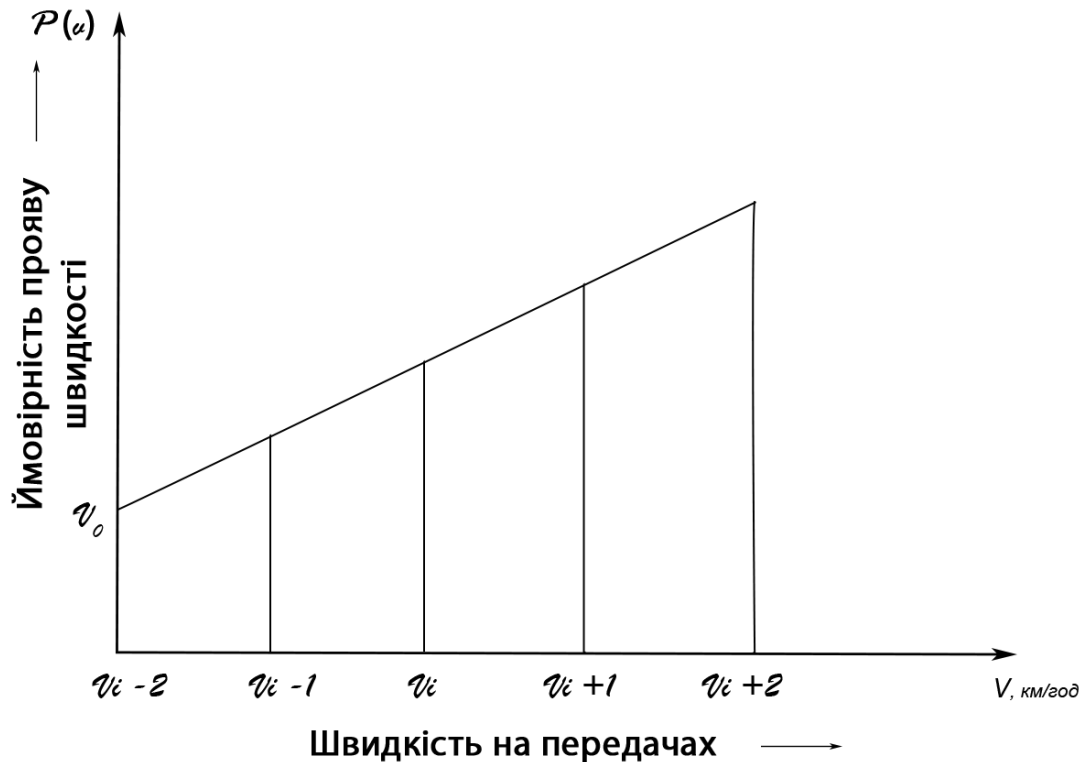


Рис. .5. Рівномірна щільність розподілу швидкостей

За рівномірно зростаючій щільності $f(v_c)$ розподілу швидкості (рис. 5.). З графіка видно, що:

$$v_c = M[v] = v_{i-1} + 0,67(v_i - v_{i-1}) = 0,67v_i \left(\frac{1}{2q_i} + 1 \right) \quad (1.10)$$

Такий розподіл найбільш ймовірний на нижчих передачах. У цьому випадку оператор, перейшовши на i -ту передачу, відразу намагається збільшити швидкість до

$$j_M = \frac{(D-\psi)g}{\delta_{вр}} \quad (1.11)$$

де, $\delta_{вр}$ - коефіцієнт врахування обертових мас.

максимально можливої на цій передачі. Розгін відбувається тим швидше, чим більше запас питомої сили тяги на цій передачі.

Так як щільність розподілу пропорційна швидкості руху – закон розподілу матиме вигляд:

$$f(v) = \begin{cases} \frac{2v}{v_i^2 - v_{i-1}^2} & \text{при } v_{i-1} < v < v_i \\ 0 & \text{при } v > v_i \text{ и } v < v_{i-1} \end{cases} \quad (1.12)$$

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

Математичне сподівання значення середньої швидкості ($M[v]$) буде дорівнювати:

$$v_c = M[v] = \int_{v_{i-1}}^{v_i} \frac{2v^2 dv}{v_i^2 - v_{i-1}^2} = 0,67v_i \left[\frac{1+q_i+q_i^2}{(1+q_i)q_i} \right] \quad (1.13)$$

Тут величину (q_i) можна визначати не тільки як відношення сусідніх передач, але і як відношення передавальних чисел КП від нижчих до вищих.

$$q = \frac{U_{i-1}}{U_i} = \frac{U_i}{U_{i+1}} = \dots = \frac{v_m}{v_{m+1}} \quad (1.14)$$

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що логіка дій оператора буде наступна: при переході на i -ту передачу, оператор намагається підтримувати максимально можливу швидкість на даній передачі, невідповідні фактори викликають необхідність знижувати її аж до (v_{i-1}). Після подолання випадкових перешкод оператор знову намагається підтримувати швидкість ближче до (v_{i-1}). Цей розподіл можливо як для низьких, так і для середніх передач, на яких питомої сили тяги (динамічного фактора) досить для швидкого розгону, і лише випадкові фактори призводять до зниження швидкості.

Цей і попередній закони слід розуміти як усереднені. На користь зазначених розподілів свідчать наступні міркування. На більш низьких передачах, коли є достатній запас питомої сили тяги, розгін відбувається швидше, ніж на вищих передачах. Отже, якщо на нижчих

передачах водієві доводиться знижувати швидкість до значень, близьких до (v_{i-1}), то після подолання перешкод, оператор може швидко збільшити швидкість до (v_i) або близькою до неї. На більш високих передачах збільшення швидкості відбувається набагато повільніше, тобто «Питома вага» швидкостей, близьких до (v_{i-1}), збільшується. Це підтверджує той факт, що характер щільності розподілу на низьких і середніх передачах буде ближче до зростаючого, а на вищих передачах – до нормального закону розподілу.

Висновки і перспективи. З урахування наявного дослідження пропонується розробка математичної моделі логіки поведінки оператора зразку автобронетанкової техніки при виборі швидкостей руху з урахуванням дорожнього спектра опорів автобронетанкової техніки при здійсненні маршруту підрозділами в умовах ускладнення обстановки.

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

Список використаних джерел

1. Антонов, Д.А., Беспалов С.И., Тимофеев В.Д. Теория движения боевых колесных машин. М.:ВаБТВ, 1993. 385 с.
2. Волков, О.О. Повышение скорости движения в повороте быстроходной гусеничной машины на основе совершенствования алгоритмов управления движением. Урганский государственный университет, 2018. 23 с.
3. Котиев, Г.О., Падалкин Б.В. Прогнозирование подвижности специальных колесных шасси на стадии проектирования. Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 3. С. 3.
4. Лоза, Д.Ф.Тактика. Марш и встречный бой. М. Воениздат, 1968. С 123-125.
5. Тичинська, Л.П., Черепашук А.А. Теорія ймовірностей. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості. ч.1. Вінниця: ВНТУ, 2010.228 с.
6. Bozdech, G.W. A GPS-based mobility power model for military vehicle applications : Master of Science Degree Thesis / G.W. Bozdech. – Knoxville : The University of Tennessee, 2012. – P. 202.
7. [btvt.narod.ru](http://btvt.narod.ru/4/mat_proxod.htm). URL: http://btvt.narod.ru/4/mat_proxod.htm.
8. Jurkat, M.P. Brady Jr P.M., Haley P.W. NATO reference mobility model. 1st Ed. 1979. 390 p.

References

1. Antonov, D.A. (1993). Teoriya dvizheniya boyevikh kolesnykh mashin [Theory of the movement of combat wheeled vehicles]. VaBTV, 385.
2. Volkov, O.O. (2018). Povysheniye skorosti dvizheniya v povorote bystrokhodnoy gusenichnoy mashiny na osnove sovershenstvovaniya algoritmov upravleniya dvizheniyem [Increasing the speed of movement in the turn of a fast tracked vehicle based on the improvement of motion control algorithms].Urganskiy gosudarstvennyy universitet, 23.
3. Kotiyev, G.O. (2013). Prognozirovaniye podvizhnosti spetsial'nykh kolesnykh shassi na stadii proyektirovaniya [Prediction of mobility of special wheeled chassis at the design stage] Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii, 3, 3.
4. Loza, D.F. (1968). Taktika. Marsh i vstrechnyy boy [March and oncoming battle].Voyenizdat, 123-125.
5. Tychynska, L.P. (2010). Teoriia ymovirnostei. Istorychni ekskursy ta osnovni teoretychni vidomosti. ch.1. [Probability theory. Historical excursions and basic theoretical information] / VNTU, 228.
6. Bozdech, G.W.(2012). A GPS-based mobility power model for military vehicle applications : Master of Science Degree Thesis. The University of Tennessee, 202.
7. [btvt.narod.ru](http://btvt.narod.ru/4/mat_proxod.htm). Available at: http://btvt.narod.ru/4/mat_proxod.htm.
8. Jurkat, M.P. (1979). NATO reference mobility model. 1st Ed.,390 p.

MATHEMATICAL MODEL OF THE LOGICAL ACTIONS OF THE ARMORED AUTOMOBILE VEHICLES OPERATOR IN MOTION SPEED CHOOSING , CONSIDER THE ROAD SPECTRUM OF RESISTANCE

S. Ostashevskiy, M. Piatkov

Abstract. March and oncoming battle In case of new ABTT events, one of the most important achievements is the forecast and the evaluation of the vehicle's armored vehicles, as well as operational and tactical drawings, the average speed is indicated. For the most part, mainly to reduce the need for engine, the control

Осташевський С. О., П'ятков М. С.

system. Even at high speeds on missions, the combat vehicle operator is instructed to switch to lower gears through a re-installation. Famous author writes that "Water is characterized by vitality due to the need to start and stop, that is needed to react to the need for more efficient operation," that object of exploitation and that sign shvidkisni rezhimi. Besides that, modeling in the minds of the organisation of service and combat activities, allowed me to change the hour by taking into account the right decision, I would have been able to immediately watch the battle, punish the senior teams.

The analysis of the logic of the behavior of the operator of the sample of the auto armored equipment in the choice of speeds of movement with the account of the road spectrum of resistance is made, and the results of the analysis are made concerning the basic laws of the distribution of speeds in low, medium and high gears. As a result of the research, it is advisable to develop a mathematical model of the logic of the operator behavior of the sample of armored vehicles when choosing the speed of travel, taking into account the road spectrum of resistance of armored vehicles during march units in conditions of complication.

Keywords: *armored automobile vehicles, speed, traffic resistance, laws of distribution of continuous random variable, average speed*