

УДК 629.017

А. І. Нікорчук

## ПІДВИЩЕННЯ МАНЕВРНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ ТА КОМБІНОВАНОМУ СПОСОБАХ УПРАВЛІННЯ ПОВОРОТОМ

У статті отримані аналітичні вирази, що дозволяють уточнити радіус повороту автомобілів при динамічному і комбінованому способах управління поворотом з урахуванням перерозподілу горизонтального навантаження між колесами ведучого моста. Розглянуто три варіанти управління поворотом динамічним і комбінованим способами.

**К л ю ч о в і с л о в а:** поворотний момент, ведучі колеса, радіус повороту, динамічний і комбінований способи управління поворотом, вимушений режим руху колеса.

**Постановка проблеми.** Маневреність є однією з важливих експлуатаційних властивостей військової автомобільної техніки (ВАТ). Це складна (комплексна) експлуатаційна властивість, що характеризує здатність ВАТ здійснювати маневр (маневрування) на обмеженому просторі з необхідною точністю і швидкістю [1].

Рух у колоні вимагає підвищення маневреності ВАТ, особливо при здійсненні маршів у зоні бойових дій, що обумовлене необхідністю виконати маневр (поворот, розворот) на обмеженій ділянці місцевості, створеної внаслідок зупинки пошкоджених транспортних засобів, які рухались як попереду, так і позаду непошкоджених колісних машин. При цьому непошкоджена колісна машина повинна виконати маневр з мінімально можливим радіусом за найкоротший час для уникнення ураження противником та здійснення подальшого руху у безпечному напрямку.

Одним із шляхів зменшення радіуса повороту є використання таких способів [2–4]:

- кінематичного способу управління за допомогою коліс, осей, опор;
- динамічного способу управління (регулювання співвідношення кутових швидкостей коліс);
- комбінованого способу управління.

При виконанні повороту динамічним та комбінованим способами ведучі колеса рухаються в режимі, що отримав назву “вимушений режим руху” [5], який раніше у розрахунку з визначення радіуса повороту не враховувався.

У статті отримані аналітичні вирази з визначення радіуса повороту автомобіля при динамічному та комбінованому способах управління поворотом, враховуючи зазначений режим руху колеса. Розглянуто три варіанти управління поворотом: загальмування внутрішнього колеса; відключення крутного моменту від внутрішнього колеса та його загальмування; обертання коліс лівого та правого бортів у протилежні сторони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У відомих працях [6; 7] були досліджені динамічний і комбінований способи управління поворотом і визначені раціональні кінематичні параметри повороту для різних динамічних станів лівого і правого коліс ведучого моста, що виникають внаслідок перерозподілу горизонтального навантаження між зазначеними колесами. Але при цьому радіус повороту визначений не був.

Так, у праці [6] авторами визначений поворотний момент:

- при загальмуванні внутрішнього колеса

$$M_{нов} = \frac{B}{2} \left[ \frac{M_T'}{r_d} - f(R_z'' - R_z') \right]; \quad (1)$$

- при відключенні від двигуна і загальмуванні внутрішнього колеса

$$M_{нов} = \frac{B}{2} \left[ \frac{M_k + M_T'}{r_d} - f(R_z'' - R_z') \right]; \quad (2)$$

- при обертанні внутрішнього і зовнішнього коліс ведучого моста в протилежні сторони

$$M_{нов} = \frac{B}{2} \left[ \frac{M_k'' + M_k'}{r_d} - f(R_z'' + R_z') \right]. \quad (3)$$

У праці [7] автором визначені нормальні реакції на колесах ведучого моста автомобіля, що обертаються у вимушеному режимі руху:

- на внутрішньому колесі

$$R_z' = 0,5R_z - R_y \frac{h}{B} = 0,5R_z - \frac{h}{B} \frac{mV_a^2}{R}; \quad (4)$$

– на наружному колесі

$$R_z'' = 0,5R_z + R_y \frac{h}{B} = 0,5R_z + \frac{h}{B} \frac{mV_a^2}{R}. \quad (5)$$

**Метою статті** є дослідження можливості підвищення маневреності автомобілів при виконанні повороту динамічним і комбінованим способами шляхом уточнення їх радіусів повороту.

**Виклад основного матеріалу.**

1. Визначимо радіус повороту у випадку загальмування внутрішнього колеса.

*Розглянемо поворот динамічним способом.*

На рис. 1 наведена схема сил, що діють на двовісний автомобіль при виконанні повороту динамічним способом. Гальмування внутрішнього колеса здійснюється на задньому ведучому мосту.

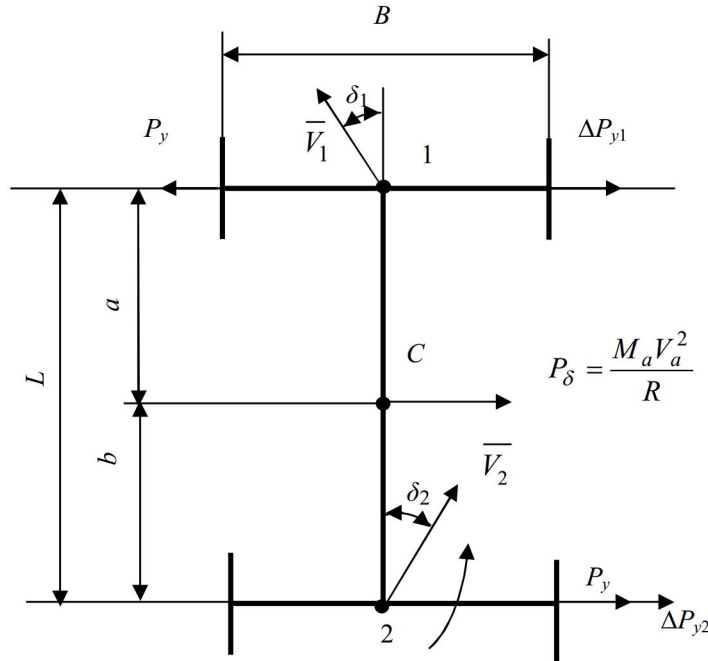


Рис. 1. Схема сил, що діють на автомобіль в горизонтальній площині при повороті динамічним способом

Радіус повороту при динамічному способі визначається відомою [8, 9] залежністю

$$R = \frac{L}{\delta_2 - \delta_1}, \quad (6)$$

де  $L$  – база автомобіля;  $\delta_1$  та  $\delta_2$  – кути відведення середини передньої і задньої осей (точок 1 і 2 на рис. 1) відповідно.

Кути відведення можуть бути визначені як

$$\delta_1 = \frac{P_{y1}}{K_{y1}}; \quad (7)$$

$$\delta_2 = \frac{P_{y2}}{K_{y2}}, \quad (8)$$

де  $K_{y1}$  та  $K_{y2}$  – сумарні коефіцієнти опору відведенню коліс передньої і задньої осей відповідно;  $P_{y1}$  та  $P_{y2}$  – сумарні бічні сили, прикладені до коліс передньої і задньої осей відповідно.

$$P_{y1} = -(P_y - \Delta P_{y1}); \quad (9)$$

$$P_{y2} = (P_y + \Delta P_{y2}), \quad (10)$$

де  $P_y$  – бічні сили, створені поворотним моментом  $M_{пов}$ ;  $\Delta P_{y1}$  та  $\Delta P_{y2}$  – додаткові бічні сили, створені відцентровою силою  $P_\delta$  на колесах передньої і задньої осей.

$$\Delta P_{y1} = P_\delta \frac{b}{L} = \frac{m_a V_a^2}{R} \frac{b}{L}; \quad (11)$$

$$\Delta P_{y_2} = P_{\delta} \frac{a}{L} = \frac{m_a V_a^2}{R} \frac{a}{L}; \quad (12)$$

$$P_y = \frac{M_{нов}}{L}. \quad (13)$$

Таким чином, підставляючи вирази (11–13) у (9) і (10), а останні – у (7) і (8), отримаємо

$$\delta_1 = \frac{-\frac{M_{нов}}{L} + \frac{m_a V_a^2}{R} \frac{b}{L}}{K_{y_1}}; \quad (14)$$

$$\delta_2 = \frac{\frac{M_{нов}}{L} + \frac{m_a V_a^2}{R} \frac{a}{L}}{K_{y_2}}. \quad (15)$$

Рівняння (6) з урахуванням (14) і (15) матиме вигляд

$$R = \frac{L}{\frac{M_{нов}}{L} \left( \frac{1}{K_{y_2}} + \frac{1}{K_{y_1}} \right) + \frac{m_a V_a^2}{RL} \left( \frac{a}{K_{y_2}} - \frac{b}{K_{y_1}} \right)}. \quad (16)$$

Після підстановки рівняння (1) для визначення поворотного моменту  $M_{нов}$  при загальмуванні внутрішнього колеса у вираз (16) та перетворень, отримаємо

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2}}{(K_{y_1} + K_{y_2}) \left[ \frac{M_T'}{r_d} \frac{B}{2} - f \frac{B}{2} (R_z'' - R_z') \right] + \frac{m_a V_a^2}{R} (a K_{y_1} - b K_{y_2})}. \quad (17)$$

З урахуванням співвідношень (4) і (5) рівняння (17) набиратиме такого вигляду:

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2}}{\frac{M_T'}{r_d} \frac{B}{2} (K_{y_1} + K_{y_2}) + \frac{m_a V_a^2}{R} [a K_{y_1} - b K_{y_2} - fh (K_{y_1} + K_{y_2})]}. \quad (18)$$

або

$$L^2 K_{y_1} K_{y_2} = \frac{M_T'}{r_d} \frac{B}{2} (K_{y_1} + K_{y_2}) R + m_a V_a^2 [K_{y_1} (a - fh) - K_{y_2} (b + fh)]. \quad (19)$$

Звідки визначимо

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 [K_{y_1} (a - fh) - K_{y_2} (b + fh)]}{\frac{M_T'}{r_d} \frac{B}{2} (K_{y_1} + K_{y_2})}. \quad (20)$$

Розглянемо поворот комбінованим способом.

На рис. 2 наведена схема сил, що діють в площині дороги на двовісний автомобіль із заднім ведучим мостом при виконанні повороту комбінованим способом.

Радіус повороту автомобіля

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \bar{\alpha} + \delta_2 - \delta_1}, \quad (21)$$

де  $\bar{\alpha}$  – середній кут повороту напрямних коліс автомобіля.

Визначимо кут відведення середини передньої осі автомобіля

$$\delta_1 = \frac{(P_{y_1} - P_{f_1} \sin \bar{\alpha}) \cos \bar{\alpha}}{K_{y_1}}, \quad (22)$$

де  $P_{f_1}$  – сумарна сила опору коченню передніх коліс автомобіля.

Після підстановки виразів (15) і (22) у рівняння (21) з урахуванням формул (11–13) отримаємо

$$R = \frac{L^2}{L \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{P_{f_1}}{2K_{y_1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + M_{нов} \left( \frac{1}{K_{y_2}} + \frac{\cos \bar{\alpha}}{K_{y_1}} \right) + \frac{m_a V_a^2}{R} \left( \frac{a}{K_{y_2}} - \frac{b}{K_{y_1}} \right)}. \quad (23)$$

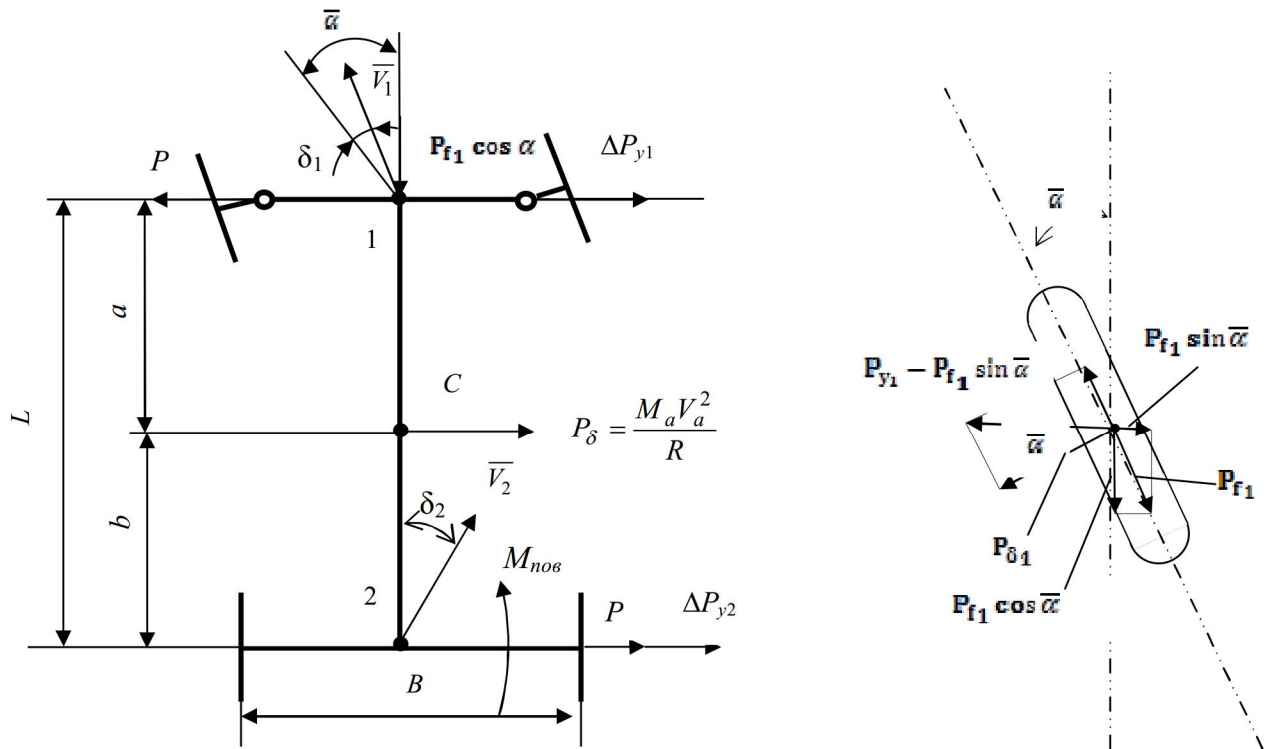


Рис. 2. Схема сил, що діють на автомобіль в площині дороги при виконанні повороту комбінованим способом (праворуч подано схему сил, що діють на колесо, яке умовно представляє передню вісь)

З урахуванням виразу (1) рівняння (23) набуває вигляду

$$R = \frac{L^2}{L \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{P_{f1}}{2K_{y1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{B}{2} \left[ \frac{M'_T}{r_d} - f(R'_z - R''_z) \right] \left[ \frac{1}{K_{y2}} + \frac{\cos \bar{\alpha}}{K_{y1}} \right] + \frac{m_a V_a^2}{R} \left( \frac{a}{K_{y2}} - \frac{b}{K_{y1}} \right)} \quad (24)$$

Виконавши перетворення з урахуванням рівнянь (4) і (5), остаточно отримаємо

$$R = \frac{L^2 K_{y1} K_{y2} - m_a V_a^2 [K_{y1} (a - fh) - K_{y2} (b + fh)]}{LK_{y1} K_{y2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{P_{f1}}{2K_{y1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{M'_T}{r_d} B (K_{y1} + K_{y2} \cos \bar{\alpha})} \quad (25)$$

Порівнюючи між собою рівняння (20) і (25), можна дійти висновку про те, що при динамічному способі радіус повороту менше, ніж при комбінованому. Це пов'язано з тим, що в рівнянні (25) в знаменнику присутній додатковий доданок, що зменшує значення дробу

$$A = LK_{y1} K_{y2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{P_{f1}}{2K_{y1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) \quad (26)$$

Для передніх ведучих колес

$$P_f = R_{x1}, \quad (27)$$

де  $R_{x1}$  – сумарна дотична реакція на передніх ведучих колесах, обумовлена дією крутних моментів.

У цьому випадку величина  $A$  більше і визначається як

$$A = LK_{y1} K_{y2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} + \frac{R_{x1}}{2K_{y1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) \quad (28)$$

Радіус повороту повнопривідного автомобіля дорівнюватиме

$$R = \frac{L^2 K_{y1} K_{y2} - m_a V_a^2 [K_{y1} (a - fh) - K_{y2} (b + fh)]}{LK_{y1} K_{y2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} + \frac{R_{x1}}{2K_{y1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{M'_T}{r_d} B (K_{y1} + K_{y2} \cos \bar{\alpha})} \quad (29)$$

2. Визначимо радіус повороту у випадках відключення від двигуна і гальмування внутрішнього колеса, а також обертання коліс ведучої осі в протилежні сторони.

Розглянемо поворот динамічним способом.

Після підстановки в рівняння (16) виразів (2) і (3) для  $M_{нов}$  воно набиратиме такого вигляду:

– при відключенні від двигуна і гальмуванні внутрішнього колеса

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 [K_{y_1} (a - fh) - K_{y_2} (b + fh)]}{0,5B(K_{y_1} + K_{y_2}) \frac{M_K + M_T'}{r_d}}; \quad (30)$$

– при обертанні внутрішнього і зовнішнього коліс у протилежні сторони

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 (aK_{y_1} - bK_{y_2})}{0,5B(K_{y_1} + K_{y_2}) \left( \frac{M_K' + M_K''}{r_d} - m_a f \frac{a}{L} \right)}. \quad (31)$$

Розглянемо поворот комбінованим способом.

Після підстановки в рівняння (23) формул (2) і (3) для  $M_{нов}$  отримуємо такі вирази:

– при відключенні від двигуна і гальмуванні внутрішнього колеса

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 [K_{y_1} (a - fh) - K_{y_2} (b + fh \cos \bar{\alpha})]}{LK_{y_1} K_{y_2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{P_{f_1}}{2K_{y_1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{B}{2} \frac{M_K + M_T'}{r_d} (K_{y_1} + K_{y_2} \cos \bar{\alpha})}; \quad (32)$$

– при обертанні внутрішнього і зовнішнього коліс в протилежні сторони

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 (aK_{y_1} - bK_{y_2})}{LK_{y_1} K_{y_2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} - \frac{P_{f_1}}{2K_{y_1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{B}{2} (K_{y_1} + K_{y_2} \cos \bar{\alpha}) \left( \frac{M_K' + M_K''}{r_d} - f m_a \frac{a}{L} \right)}. \quad (33)$$

Якщо в автомобілі передній ведучий міст, тоді замість  $P_{f_1}$  у рівняння (32) і (33) необхідно підставити  $R_{x_1}$ . Після цього вказане рівняння матиме такий вигляд:

– при відключенні від двигуна і гальмуванні внутрішнього колеса

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 [K_{y_1} (a - fh) - K_{y_2} (b + fh \cos \bar{\alpha})]}{LK_{y_1} K_{y_2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} + \frac{R_{x_1}}{2K_{y_1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{B}{2} \frac{M_K + M_T'}{r_d} (K_{y_1} + K_{y_2} \cos \bar{\alpha})}; \quad (34)$$

– при обертанні внутрішнього і зовнішнього коліс в протилежні сторони

$$R = \frac{L^2 K_{y_1} K_{y_2} - m_a V_a^2 (aK_{y_1} - bK_{y_2})}{LK_{y_1} K_{y_2} \left( \operatorname{tg} \bar{\alpha} + \frac{R_{x_1}}{2K_{y_1}} \sin 2\bar{\alpha} \right) + \frac{B}{2} (K_{y_1} + K_{y_2} \cos \bar{\alpha}) \left( \frac{M_K' + M_K''}{r_d} - f m_a \frac{a}{L} \right)}. \quad (35)$$

### Висновки

1. Отримані аналітичні вирази дозволяють визначити радіус повороту автомобіля динамічним або комбінованим способами.

2. Аналіз рівняння (20) показує, що радіус повороту збільшується пропорційно квадрату бази  $L^2$  і зменшується пропорційно квадрату швидкості  $V_a^2$  автомобіля.

3. Радіус повороту автомобіля при комбінованому способі менше, ніж при динамічному. Поворот комбінованим способом повнопривідного автомобіля відбувається з меншим радіусом, ніж автомобіля, у якого не ведучий передній міст.

**Список використаних джерел**

1. Подригало, М. А. Маневренность и управляемость колесных машин. Определение понятий и критерии оценки [Текст] / М. А. Подригало, Д. М. Клец // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – Симф., 2012. – Вып. 35. – С. 15–21. – (“Технические науки”).
2. Маневренность и тормозные свойства колесных машин [Текст] / М. А. Подригало, В. П. Волков, В. И. Кирчатый, А. А. Бобошко ; под ред. М. А. Подригало. – Х. : ХНАДУ, 2003. – 403 с.
3. Бобошко, А. А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.02 / ХНАДУ. – Х., 2002. – 19 с.
4. Петрушов, В. А. Особенности поворота колесных самоходов типа 4×4 с неповоротными колесами [Текст] / В. А. Петрушов. – М. : НАМИ, 1959. – 56 с.
5. Подригало, М. А. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов [Текст] / М. А. Подригало. – Х. : Акад. ВВ МВД Украины, 2013. – 222 с.
6. Подригало, М. А. Определение касательных реакций на колесах ведущей оси автомобиля при выполнении поворота динамическим и комбинированным способами [Текст] / М. А. Подригало, А. И. Нікорчук // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 3(43). – С. 135–138.
7. Нікорчук, А. І. Визначення раціональних кінематичних параметрів повороту автомобіля при динамічному або комбінованому способі управління поворотом [Текст] / А. І. Нікорчук // Озброєння та військова техніка. – 2016. – № 1(9). – С. 32–37.
8. Бобошко, А. А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин [Текст] / А. А. Бобошко. – Х. : ХНАДУ, 2006. – 172 с.
9. Чудаков, Е. А. Теория автомобиля [Текст] / Е. А. Чудаков. – М. : Машгиз, 1950. – 343 с.

*Стаття надійшла до редакції 24.10.2016 р.*

**УДК 629.017**

**А. И. Нікорчук**

**ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ И КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ**

*В статье получены аналитические выражения, которые позволяют уточнить радиусы поворота автомобилей при динамическом и комбинированном способах управления поворотом с учетом перераспределения горизонтальной нагрузки между колесами ведущего моста. Рассмотрены три варианта управления поворотом динамическим и комбинированным способами.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: поворачивающий момент, ведущие колеса, радиус поворота, динамический и комбинированный способы управления поворотом, вынужденный режим движения колеса.*

**UDC 629.017**

**A. I. Nikorchuk**

**INCREASE THE MANEUVERABILITY MILITARY VEHICLE DYNAMIC AND COMBINED CONTROL METHOD OF TURN**

*In the article the turning radius cars with dynamic and combined management methods taking into account the rotation horizontal redistribution of load between the wheels of the leading axle. Considered three options for turning dynamic management and a combination of ways.*

*К e y w o r d s: turning point, WD, turning radius, and combined dynamic way to control the turn, forced the regime of movement of the wheel.*

**Нікорчук Андрій Іванович** – ад’юнкт Національної академії Національної гвардії України.