

УДК 656.052.46

В.Б. Толубко<sup>1</sup>, Б.Г. Васильєв<sup>2</sup>, О.М. Березан<sup>2</sup><sup>1</sup>ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ МОБІЛЬНОСТІ І БЕЗАВАРІЙНОСТІ ЗАСОБІВ РУХОМОСТІ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗА РАХУНОК РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ МАНЕВРЕНОСТІ

Обґрунтуються нові підходи, принципи і напрямки рішення проблеми маневреності засобів рухомості озброєння і військової техніки в інтересах підвищення їх мобільності і безаварійності. Пропонується відмовитись від принципу побудови рульової трапеції Жанто для поворотних коліс і збільшити у декілька разів рухомість машини при маневруванні. Нові ступені свободи пропонується використовувати при створюванні законів управління маневруванням автоматичної системи для руху будь-якої габаритної точки або колеса у необхідному напрямку з метою об'їзду шляхових перешкод.

**Ключові слова:** засоби рухомості озброєння і військової техніки, мобільність, маневреність, об'їзд шляхових перешкод, вписуємість, рульова трапеція Жанто, суміщення траєкторій руху двох точок машини, закон керування маневруванням.

### Вступ

Наземні засоби рухомості (ЗР) озброєння і військової техніки (ОВТ) при виконанні своїх задач повинні постійно пересуватися без втрати рухомості. Особливо важко це забезпечити у самий найважливіший етап – етап активних бойових дій конфліктуючих сторін. У цей період з одного боку значно ускладнюються умови руху, оскільки з'являються різноманітні перешкоди, а з другого боку підвищуються вимоги до рухомості, мобільності і маневреності військ і ЗР ОВТ. В усьому світі фахівцями визначається, що однією з найважливіших довгострокових актуальних задач є підвищення на максимальний рівень рухомості, мобільності і маневреності військ і ОВТ.

Як звісно, рухомість поділяють на тактичну, оперативну і стратегічну [1]. Усі ці складові в умовах географічного розташування України повинні забезпечувати ЗР ОВТ шляхом розосередження або перебазування у другий район.

Маневреність безпосередньо впливає на мобільність і безаварійність ЗР. При поганій маневреності військової машини або при помилковому керуванні водія при маневруванні у тяжких умовах експлуатації і бойового застосування виникає або наїзд коліс на людину і дорожні перешкоди (ями, траншеї і інші), або зіткнення габаритних точок машини з габаритними перешкодами у напрямку руху (іншими машинами, деревами, стовпами і т.д.). Все це призводить до таких неприпустимих подій, як повна втрата рухомості і зрив бойової задачі, пошкодження озброєння, машин, багатокоштовного обладнання, травматизм і загибель особового складу.

Питання значного підвищення маневреності ЗР за останні роки загострилися і значно відстають від

зростаючих потреб життя. В умовах сучасного розвитку зброї і засобів розвідки недостатньо будувати ЗР тільки для руху по запланованих шляхах і маршрутах, які готуються завчасно.

Треба удосконалювати системи керування поворотом засобів рухомості, але досі нема ні одного прикладу побудови яких-небудь інших систем, ніж рульова трапеція Жанто, яка була винайдена ще у 1878 році.

**Постановка проблеми.** Потребується обґрунтувати напрямки вирішення проблеми значного підвищення маневреності засобів рухомості озброєння і військової техніки, яке б забезпечило сучасні вимоги до рухомості, мобільності і маневреності військ і озброєння і військової техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз робіт, пов'язаних з маневреністю машин у цивільних галузях автотранспорту (найбільш значимі [2 – 4]) призводить до висновку, що досі нема необхідних рішень і існуючі підходи і напрямки досліджень не враховують специфіку військових машин і вимоги до їх маневреності.

Все це висвітлює аналіз існуючих основопологаючих питань у цієї галузі науки: формулювання поняття «маневреність», вибір критеріїв і показників оцінки маневреності.

Маневреність формулюється [4, с. 9], як складна експлуатаційна властивість, яка містить наступні прості властивості: керованість (легкість керування, надлишкову, нейтральну і недостатню поворотоздатність), поворотність (статичну, динамічну), вписуємість (зовнішню, внутрішню).

З усіх перерахованих властивостей найбільший інтерес для військової галузі має зовнішня вписуємість. Однак для неї не наведені критерії і показники оцінки. На практиці використовують параметри

кругового руху машини або автопоїзду, що надає багато помилкових результатів.

Усі інші наведені властивості маневреності використовуються при створенні високошвидкісних машин, для яких маневреність полягає в утриманні машини на шляху при повороті з великою швидкістю.

Методи, методики і рішення, отримані у цих дослідженнях, не можуть дати відповідь на основні питання, які виникають при маневруванні засобів рухомості у тяжких умовах експлуатації і бойового застосування, коли треба подолати багато габаритних і дорожніх перешкод шляхом об'їзду при малій швидкості руху.

Аналіз результатів досліджень, опублікованих у [5 – 14], дозволяє інакше розглядати усі питання маневреності і вирішувати їх для ЗР за допомогою поворотних коліс у межах дії неголономних кінематичних зв'язок з дорогою.

**Мета даної статті** – виробити нові підходи і принципи до рішення задач маневрування і обґрунтувати напрямки рішення проблеми значного підвищення маневреності ЗР.

### Виклад основного матеріалу

Сформульована система нових підходів і принципів аксіоматичного походження являє собою аксіоматику маневреності і є основою для подальшого рішення усіх задач маневреності ЗР. Вона включає 6 наступних прикладів.

**Принцип 1** – розгляд усіх питань маневреності ЗР повинен бути у призмі зв'язку з забезпеченням мобільності військ, озброєння і військової техніки у складних умовах експлуатації і бойового застосування.

**Принцип 2** – основна мета успішного маневрування (критерій) полягає в управлінні засобами різкої зміни траєкторії руху коліс і габаритних точок, щоб забезпечити об'їзд усіх перешкод у площині шляху при малій швидкості руху, не допустивши таким чином повної втрати рухомості або аварії. І лише у другу чергу, у разі забезпечення виконання основної мети, вирішувати питання збільшення швидкості руху при маневруванні.

**Принцип 3** – показниками оцінки маневреності мають бути:

- величина і форма габаритної смуги руху (ГСР);
- величина і форма смуги руху коліс (СРК);
- складність управління маневруванням автопоїзду при русі заднім ходом;
- можливість еквідістантного руху коліс для виключення надлишкового створення глибини колії коліс;
- число ступіней свободи машини і кожної ланки автопоїзду для маневрування (останні два показники стосуються, перспективних систем маневрування нового покоління, про що буде наведено пізніше).

врування нового покоління, про що буде наведено пізніше).

Причому ГСР і СРК повинні визначатися у реальних умовах маневрування, а не при круговому русі, як це прийнято досі.

**Принцип 4** – використовувати тільки такий математичний апарат і методи розрахунків, які дають тільки однозначні рішення по визначенню траєкторії руху і їх параметрів щодо коліс і габаритних точок.

**Принцип 5** – оскільки задачі керування маневруванням у тяжких умовах експлуатації і бойового застосування суттєво нелінійні, то необхідно мати нові підходи і методи дослідження руху, які повинні відображати стійкість по всіх параметрах траєкторії усіх точок машини і усіх ланок автопоїзду при русі як прямо, так і заднім ходом і не тільки по параметру часу, а і по дугової координаті руху.

**Принцип 6** – необхідно враховувати керуючу діяльність водія при вирішенні задач маневрування, як елемента системи «водій-машина-шлях» (В-М-Ш).

Помилки водія при маневруванні, а також запізнення при прийнятті необхідного рішення можуть також призвести до зіткнення машини з перешкодами руху.

З урахуванням наведених принципів поняття маневреності необхідно формулювати наступним чином.

Маневреність засобів рухомості – це здатність машини (автопоїзду) сумісно з іншими елементами системи «водій-машина-шлях» у залежності від змін дорожніх умов ціленаправлено змінювати напрямок руху машини і її точок (зокрема і на протилежний), а також змінювати параметри траєкторії руху (форму, кривизну) коліс і крайніх габаритних точок, щоб не допустити втрату рухомості і аварійність.

Перспективи підвищення маневреності пов'язані з рішенням задач у двох напрямках:

- удосконалення маневреності системи «водій-машина-шлях» для існуючих машин за рахунок інших двох елементів системи без зміни конструкції рульового керування;
- удосконалення рульового керування сумісно з усіма іншими елементами системи для максимального підвищення маневреності.

У першому напрямку не слід очікувати суттєвого підвищення маневреності. Але тут можливо швидко отримати результати: розробити для водія і для будівельників шляхів руху і майданчиків маневрування чіткі розрахунки і рекомендації, які б урахували траєкторії руху коліс і габаритних точок у реальних важких умовах маневрування, особливо для автопоїздів з причепом або напівприцепом при русі заднім ходом. Для цього треба розробити математичний апарат, який би дозволював розраховувати траєкторії руху усіх коліс і усіх габаритних точок

не тільки по параметру часу, а і по параметру шляху і обраховувати нелінійність задачі при великих кутах повороту керованих коліс і кута складання ланок автопоїзду.

Ці дослідження можуть бути проведені для кожної машини і для кожного автопоїзду і представлені у вигляді відповідних інструкцій щодо маневрування у тяжких умовах руху.

Підвищити маневреність у цьому напрямку може розробка допоміжної інформаційної системи для водія, яка б рекомендувала йому правильні дії у тяжких умовах маневрування.

Суттєвого підвищення маневреності ЗР слід очікувати тільки у другому напрямку.

Особливої уваги тут заслуговують рішення, які б дозволили вдвічі підвищити маневреність. Такі рішення слід шукати у побудові системи маневрування на інших принципах, ніж ті, що закладені у рульовій трапеції.

Рульова трапеція була винайдена французьким винахідником Жанто ще у 1878 році і досі у світі нічого нового не знайдено.

Зараз існує багато рішень лише різноманітного конструктивного виконання рульової трапеції, але усі вони будуються на одному принципі – забезпечити різні кути повороту  $\gamma_2$  і  $\gamma_6$  лівого 2 і правого 6 коліс, щоб їх радіуси повороту перетиналися у одній точці  $O_M$ , розташованій на лінії неповоротних коліс 3 і 7 (рис. 1).

Математично цей принцип відображає формула Аккермана [15, с. 187]:

$$\text{Ctg}\gamma_2 - \text{Ctg}\gamma_6 = \frac{B_{2,6}}{L_{2,3}}, \quad (1)$$

де  $\gamma_2, \gamma_6$  – відносні кути повороту зовнішнього і внутрішнього коліс;

$B_{2,6}$  – відстань між шворніями повороту коліс;

$L_{2,3}$  – відстань поворотних коліс від неповоротних.

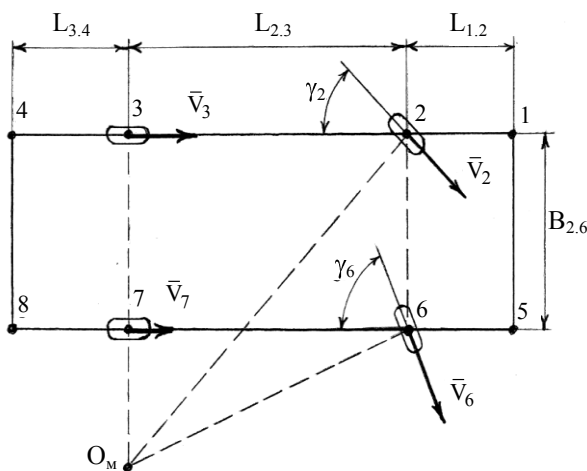


Рис. 1. Принцип побудови рульової трапеції Жанто з задніми неповоротними колесами машини

У цьому випадку рухома центроїда, яка будується з системи точок миттєвих центрів швидкостей  $O_M$  при зміні кутів  $\gamma_2$  і  $\gamma_6$  [16], є прямою лінією, яка проходить через точки 3 і 7.

Ця рухома центроїда пов'язана з машиною і рухається разом з нею. В усіх точках машини, які співпадають з точками рухомої центроїди, вектор швидкості спрямован вздовж машини і не змінює цю спрямованість при будь-якому повороті керованих коліс.

Некерованість поворотом вектора швидкості цих точок як раз і являє собою причину поганої маневреності.

Точка 7 при русі прокреслює крайню внутрішню траєкторію, що потребує для проїзду машини велику ширину шляху на повороті. Машина має тільки одну ступінь свободи для маневрування – водій поворотом рульового колеса повертає одразу вектори швидкості усіх точок машини (крім точок, співпадаючих з рухомою центроїдою).

У випадку виконання поворотними усіх коліс машини (рис. 2) питання маневреності принципово не змінюються. Задні колеса за допомогою своєї рульової трапеції повертаються у протилежний бік на відносні кути  $\gamma_4$  і  $\gamma_8$ , які також пов'язані формулою Аккермана:

$$\text{Ctg}\gamma_4 - \text{Ctg}\gamma_8 = \frac{B_{4,8}}{L_{3,4}}, \quad (2)$$

де  $B_{4,8}$  – відстань між шворніями повороту задніх коліс;

$L_{3,4}$  – відстань задніх поворотних коліс від рухомої центроїди.

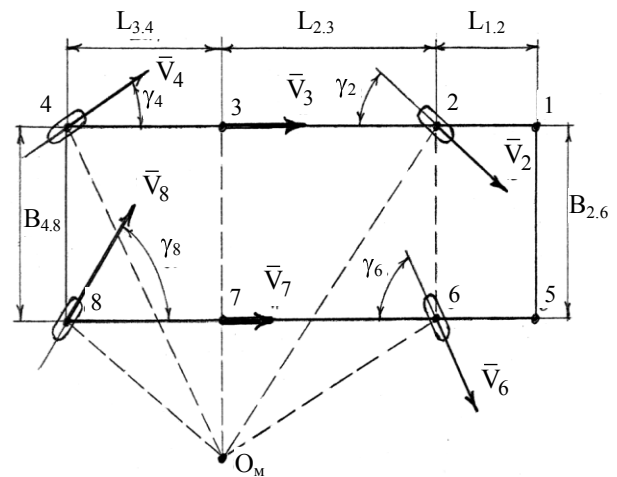


Рис. 2. Принцип побудови рульової трапеції Жанто з усіма поворотними колесами машини

Кути повороту задніх і передніх коліс пов'язані рівнянням:

$$\frac{\text{tg}\gamma_4}{\text{tg}\gamma_2} = \frac{\text{tg}\gamma_8}{\text{tg}\gamma_6} = \frac{L_{3,4}}{L_{2,3}}. \quad (3)$$

Як і у попередньому випадку рухома центроїда являє собою пряму лінію, яка проходить через точки 3 і 7. Вектор швидкості у цих точках як і раніше спрямований вздовж машини і не змінює цю спрямованість при маневруванні. Тому проблеми маневреності такої машини залишаються такими, як вони були у машини з неповоротними колесами у точках 3 і 7. Можна розташувати у цих точках неповоротні колеса і вони ніяк не будуть впливати на траєкторії руху усіх точок машини.

Таким чином, машина з усіма поворотними колесами будь-якої кількості, які керуються за допомогою рульової трапеції (механічної або електронної), завжди має точки, рух яких повністю співпадає з траєкторіями руху неповоротних коліс у цих точках, і маневреність такої машини не відрізняється від маневреності цієї машини з неповоротними колесами. Цією мірою можна лише зменшити радіус повороту машини при обмеженні максимального куту повороту коліс. Але тут з'являється допоміжна проблема маневреності – зростає задній звіс  $L_{3,4}$ , що приводить до появи на вході у поворот і на виході з нього нових зовнішніх і внутрішніх траєкторій руху, які утворюються точками 4 і 8. Ці траєкторії дуже складні і водій не може одночасно керувати траєкторіями руху і передніх коліс, і задніх коліс, і точок заднього звісу.

Отже, при виконанні поворотними усіх коліс машини рульова трапеція (її принцип побудови) не дозволяє підвищити маневреність більше, ніж має машина з неповоротними колесами, і обмежує число ступіней свободи машини одиницею. Для збільшення числа ступіней свободи машини для маневрування вдвічі (а для автопоїзду і більше) необхідно відмовитись від рульової трапеції. Тоді можна бути здійснювати керування маневруванням машини сумісно з допоміжною автоматичною системою у будь-яких напрямках руху і з будь-якими траєкторіями обраних точок машини.

Для цієї автоматичної системи можливо розробити набір моделей маневрування, закласти їх у бортовий комп'ютер, а водію тільки вибирати потрібну модель у залежності від зміни умов руху на шляху відносно перешкод для маневрування. Основу цих моделей складають закони руху і управління маневруванням.

Для машини такими законами, наприклад, можуть бути: рух двох правих коліс по єдиної траєкторії, рух двох лівих коліс по єдиної траєкторії, рух двох правих габаритних точок по єдиної траєкторії, рух двох лівих габаритних точок по єдиної траєкторії, рух будь-яких обраних двох точок машини у заданому напрямку і заданій траєкторії (прямолінійній, круговій та інші). Аналогічно задача вирішується і для будь-якого автопоїзду.

## Висновки

Сформульована аксіоматика маневреності, яка містить нові підходи і принципи та дозволяє:

враховувати військову специфіку ЗР;  
 уточнити оснополагаючі поняття маневреності і отримати чіткі і однозначні результати і рішення задач маневрування в інтересах підвищення рухомості, і мобільності.

Обґрунтовані два напрямки для вирішення проблеми суттєвого підвищення маневреності засобів рухомості.

Найбільш вагомими результатами слід очікувати у напрямку удосконалення рульового керування поворотом коліс.

Знайдена причина поганої маневреності усіх сучасних машин, зокрема і з усіма поворотними колесами – принцип повороту коліс, який закладений у рульовій трапеції Жанто.

Треба відмовитись від цього принципу, що дозволить підвищити вдвічі число ступіней свободи машин для маневрування.

Для автопоїзду це підвищення складе ще більше. Це відкриває шлях для створення допоміжної автоматичної системи керування для зміни напрямку руху і траєкторій будь-яких оборотних коліс або габаритних точок, зокрема і для суміщення траєкторій двох точок.

## Список літератури

1. Конофеев Н.Т. *Транспортировка ракет* / Н.Т. Конофеев. – М.: Воениздат, 1978. – 150 с.
2. Закин Я.Х. *Прикладная теория движения автопоезда* / Я.Х. Закин. – М.: Транспорт, 1967. – 252 с.
3. Закин Я.Х. *Маневренность автомобиля и автопоезда* / Я.Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
4. Подригало М.А. *Маневренность и тормозные свойства колесных машин* / под ред. М.А. Подригало / М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Курчатый, М.А. Бобошко. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 403 с.
5. Васильев Б.Г. *Синтез законов управления для совмещения траекторий движения точек неголономной системы тел* / Б.Г. Васильев // *Информационные системы*. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1994. – Вып. 2. – С. 69-77.
6. Васильев Б.Г. *Обоснование возможности создания и использования в ВС Украины для РК ТН и ОТН высокомобильных специализированных транспортных средств на базе трехзвенных схем автопоездов* / Б.Г. Васильев, А.П. Середенко // *Труды ХВУ*. – Х.: МО Украины, 1996. – Вып. 11, Ч. 2. – С. 155-161.
7. Васильев Б.Г. *Решение проблем создания на Украине высокомобильных ПУ для РК ОТН и ЗРК* / Б.Г. Васильев // *Збірник наукових праць ХВУ*. – Х.: МО України, ХВУ, 1997. – Вып. 11, Ч.3. – С. 197-203.
8. Васильев Б.Г. *Вирішення проблемних задач підвищення рухомості і маневреності великогабаритних багатоланкових спецагрегатів* / Б.Г. Васильев, С.П. Биков, М.М. Радчин // *Ракетно-космічна техніка. Збірник наукових праць ХВУ*. – Х.: ХВУ, 1999. – Вып. 1. – С. 145-151.

9. Сахно В.П. Курсова стійкість двохланкового автопоїзда при русі заднім ходом / В.П. Сахно, Б.Г. Васильєв, С.В. Гейко // Автошляховик України: Окремий випуск: Вісник Центрального Наукового Центру Транспортної Академії України, 2000. – № 3. – С. 94-97.

10. Васильєв Б.Г. Основы теории маневренности систем с неголономными управляемыми колесными связями / Б.Г. Васильєв, С.А. Марцинкевич // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – Х.: ХНАДУ, 2001. – Вып. 7-8. – С. 126-128.

11. Васильєв Б.Г. Решение проблемы управления транспортной машиной для совмещения траекторий колес и габаритных точек / Б.Г. Васильєв, С.А. Марцинкевич // Вестник ХГАДТУ: сборн. научн. тр. – Х.: ХНАДУ, 2001. – Вып. 15-16. – С. 171-173.

12. Васильєв Б.Г. Принципы построения квази-адаптивных систем маневрирования крупногабаритных спецагрегатов ракетного вооружения / Б.Г. Васильєв // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 2002. – Вып. 5(43). – С. 337-349.

13. Васильєв Б.Г. Перспективные направления глобального развития на качественно новый уровень средств подвижности вооружения и военной техники / Б.Г. Васильєв, С.Р. Дурович // П'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту по-

вітряного простору», 15 – 16 квітня 2009р.: тези доповідей. – Х.: ХУПС, 2009. – С. 125.

14. Васильєв Б.Г. Проблема применимости принципа построения рулевой трапеции для существенного повышения маневренности полуприцепа / Б.Г. Васильєв, Ю.В. Баистов // П'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 15 – 16 квітня 2009 р.: тези доповідей. – Х.: ХУПС, 2009. – С. 126.

15. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг. – М.: Машиностроение, 1982. – 262 с.

16. Павловський М.А. Теоретична механіка: підручник / М.А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.

Надійшла до редколегії 26.11.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.Є. Александров, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ МОБИЛЬНОСТИ И БЕЗАВАРИЙНОСТИ СРЕДСТВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ЗА СЧЕТ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ МАНЕВРЕННОСТИ

В.Б. Толубко, Б.Г. Васильєв, А.Н. Березан

Обсужаются новые подходы, принципы и направления решения проблемы маневренности средств передвижения вооружения и военной техники, в интересах повышения их мобильности и безаварийности. Предлагается отказаться от принципа построения рулевой трапеции Жанто для поворотных колес и увеличить в несколько раз подвижность машины при маневрировании. Новые степени свободы предлагается использовать при создании законов управления маневрированием автоматической системы для движения любой габаритной точки или колеса в необходимом направлении с целью объезда дорожных препятствий.

**Ключевые слова:** средства передвижения вооружения и военной техники, мобильность, маневренность, объезд дорожных препятствий, вписывание, рулевая трапеция Жанто, совмещение траекторий движения двух точек машины, закон управления маневрированием.

#### PROSPECTS OF INCREASE OF MOBILITY AND ACCIDENT-FREENESS OF FACILITIES MOBILE ARMAMENT AND MILITARY TECHNIQUE DUE TO THE DECISION OF PROBLEM OF MANOEUVRABILITY

V.B. Tolubko, B.G. Vasil'ev, A.N. Berezan

New approaches, principles and directions of decision of problem of manoeuvrability of facilities, will settle mobile armament and military technique, in behalf of increase of their mobility and accident-freeness. It is suggested to give up principle of construction of steering trapezoid of Zhanto for turning wheels and to increase in once or twice mobile machines at manoeuvring. It is suggested to use the new degrees of freedom for creation of laws of management manoeuvring of the automatic system for motion of any overall point or wheel in necessary direction with the purpose of detour of track obstacles.

**Keywords:** facilities mobile armament and military technique, mobility, manoeuvrability, detour of trackobstacles, negotiation, steering trapezoid of Zhanto, combination of trajectories of motion of two points of machine, law of management manoeuvring.