

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 629.1.032

DOI:10.30977/BUL.2219-5548.2018.80.0.30

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ЗАПОБІГАННЯ ЗАНЕСЕННЮ ГУСЕНИЧНОЇ МАШИНИ

Волосніков С. О., Саєнко Д. В.,

Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова

Анотація. Запропоновано механізм впровадження цифрової автоматизованої системи запобігання занесенню для гусеничної машини, обладнаної автоматизованою системою керування поворотом. Розроблено механізм реалізації цифрової автоматизованої системи запобігання занесенню для ВГМ, обладнаної системою автоматизованого керування поворотом. Запропоновано спосіб керування криволінійним рухом гусеничної машини в автоматизованому режимі, що забезпечує рух з максимальною швидкістю, наближеною до занесення.

Ключові слова: занесення гусеничної машини, критична швидкість за занесенням.

Вступ

Підвищення питомої потужності двигунів сучасних військово-гусеничних машин (ВГМ) висунуло на перший план проблему підвищення керованості, особливо під час руху на високих швидкостях. Рух гусеничних машин характеризується тим, що 30–70 % шляху машина знаходиться у стані повороту. Основним показником маневреності ВГМ є середня швидкість руху, яка значною мірою залежить від досконалості конструкції трансмісії та механізму повороту. Необхідно відзначити, що рух ВГМ на місцевості супроводжується безперервно змінними зовнішніми впливами, що призводить до постійної зміни швидкості руху. З огляду на специфіку приладів спостереження, що застосовуються на ВГМ, механікові-водію, який не має достатньої підготовки та досвіду водіння, складно визначити початок виникнення занесення, що є особливо небезпечним за високих швидкостей руху на недеформованих ґрунтах (асфальт, бетон, обмерзла дорога та ін.), що мають малий коефіцієнт опору повороту.

Необхідно підкреслити, що стійкість ВГМ, яка характеризується здатністю повернення до прямолінійного руху або попереднього криволінійного руху після переміщення органу керування поворотом у початкове положення, є необхідною, але недостатньою умовою керованості. У цьому разі керованість характеризується здатністю ВГМ реалізувати кривизну траєкторії руху, задану положенням органів керування поворотом,

(«штурвалом» або «важелями повороту»). Критерієм керованості ВГМ є різниця між кривизною траєкторії руху, що задається органом керування поворотом, і тією, що реалізується на місцевості. У цьому разі критерієм стійкості ВГМ при криволінійному рухові можна вважати різницю між кривизною траєкторії, що задається ведучими колесами гусеничного рушія, і тією, що реалізується на місцевості. Отже, до тих пір, поки зазначена різниця залишається позитивною, криволінійний рух є стійким. Впровадження комплексної системи керування рухом на ВГМ дозволило зберегти основні переваги бортових коробок передач (БКП), до яких необхідно віднести: порівняно високий ККД, малі габаритні розміри, відносно низьку вартість виготовлення, і при цьому забезпечити можливість виконання машиною більш плавного повороту. Система автоматизованого керування поворотом (САКП) з бортовими ступінчастими планетарними коробками передач використовує спосіб повороту шляхом включення пониженої передачі ($n-1$) на борту, що відстає, та є подальшим розвитком механогідравлічних систем керування, які широко використовувались на більш ранніх конструкціях трансмісій ВГМ. Поворот ВГМ, обладнаної САКП, забезпечується за рахунок імпульсного керування фрикційними пристроями БКП, що забезпечує можливість пропорційної зміни радіуса повороту машини залежно від кута повороту штурвала, що задається механіком-водієм.

Керованість ВГМ у процесі повороту, а також динамічні показники рухливості, як нових машин, так і тих, що модернізуються, значною мірою залежать від технічних характеристик автоматизованих систем керування рухом та поворотом, що впроваджені до складу виробу.

Аналіз публікацій

Проведений аналіз робіт, присвячених дослідженню різних режимів руху ВГМ, показав, що в них, як правило, розглядаються різні прийоми з керування машиною, які в тій чи іншій мірі дозволяють забезпечити стійкість та керованість у процесі руху, в тому числі й у повороті. На даному етапі розвитку бортової електроніки концепція побудови САКП сучасних ВГМ і методи дослідження руху дозволяють впливати на процес керування з урахуванням параметрів руху, що постійно змінюються.

У роботі [1] запропоновано методику для визначення критичної швидкості руху гусеничної платформи по занесенню, яку можна використовувати для визначення небезпечних для ВГМ режимів руху в повороті, для кожної з передач, за різних дорожньо-грунтових умов. Для розглянутого класу техніки найбільш небезпечними, що потребують проведення додаткових досліджень, є режими руху в повороті на 4-й передачі та вище з наближенням до фіксованого радіуса повороту (включення передачі $(n-1)$ на борту, що відстає), коли можливе виникнення занесення. У роботі [2] змодельовано систему керування рухом ВГМ у повороті, який забезпечується за рахунок імпульсного керування фрикційними пристроями БКП, що забезпечує можливість пропорційної зміни радіуса повороту машини залежно від величини кута повороту штурвала. Результати дослідження показали дещо запізнену реакцію ВГМ на керуючий вплив – поворот штурвала, що було викликано тривалим наростанням довжини сигналу керування. У роботі [3] відзначається, що гранична швидкість маневрування танка БМ «Оплот» нижча, ніж теоретична, що пояснюється запізненою реакцією машини на керуючий вплив – близько 1 секунди, що є наслідком, в першу чергу, недостатньої швидкодії БКП, а також високої інертності виробу. Також було відзначено, що для збільшення граничної швидкості маневрування і поліпшення характеристик «поворотності» машини необхідне підвищення швидкодії системи керування рухом, яка має бути спрямована, в першу чергу, на підвищення

швидкодії БКП та обчислювальних засобів системи керування. Необхідно також відзначити, що аналогічний час реакції машини на керуючий вплив мають також ВГМ із механогідролічними системами керування [4], що зумовлено конструктивними особливостями планетарних БКП.

Аналіз експериментальних даних показує, що автоматизовані системи керування рухом ВГМ, які мають достатню швидкодію та високу точність регулювання, забезпечують більш високі середні швидкості руху машини, ніж аналогічні механогідролічні системи з ручним керуванням [5]. У зв'язку зі значно збільшеними вимогами, що висуваються до керованості та рухливості сучасних ВГМ, постала потреба у вирішенні завдань щодо забезпечення реалізації плавного і точного керування радіусом повороту машини, що задається механіком-водієм, з мінімізацією випадків виникнення занесення, особливо під час руху з максимально високими швидкостями.

Мета і постановка завдання

Метою статті є розробка та обґрунтування принципів побудови цифрової автоматизованої системи запобігання занесенню для ВГМ, що обладнана САКП та використовує спосіб повороту шляхом включення передачі $(n-1)$ на борту, що відстає.

Як показує досвід водіння ВГМ, у разі виникнення занесення вже пізно втручатися у процес керування поворотом шляхом виконання наступних дій: гальмування, перемикавання передач або додаткового повороту штурвала (важелів повороту) в той чи інший бік, які, в більшості випадків, не приводять до бажаного виходу із занесення, особливо за високих швидкостей руху. Таким чином, у цьому випадку необхідно говорити про запобіжні дії з боку автоматизованої системи керування. Для підвищення середньої швидкості руху ВГМ, а також мінімізації випадків виникнення занесення у випадку криволінійного руху виникла необхідність створення цифрової автоматизованої системи запобігання занесенню, що може працювати в комплексі з САКП.

Розробка цифрової автоматизованої системи запобігання занесенню гусеничної машини

На ВГМ, що обладнані механогідролічною системою керування (Т-64А, Т-80УД та ін.), для отримання необхідного радіуса повороту механіком-водію необхідно виконати багаторазовий вплив на важелі повороту ма-

шиною. Слід зазначити, що здійснення більш точного і плавного повороту гусеничної машини буде виходити у механіка-водія, що має більший досвід водіння, в тому числі в різних дорожніх умовах. У цьому випадку на ВГМ, що обладнані САКП, наприклад, на танку БМ «Оплот», механік-водій лише задає необхідний радіус повороту машини шляхом повороту штурвала на певний кут, а все інше реалізує система керування на підставі сигналів з датчиків (кута повороту штурвала, частоти обертання лівого та правого ведучих коліс та ін.), блока керування й електрогідровлічних виконавчих пристроїв.

Для виконання розрахунку максимальних швидкостей руху ВГМ на кожній з передач переднього ходу скористаємося виразом

$$V = 2\pi \cdot r_{\text{вк}} \cdot \frac{n_{\text{дв}}}{i_{\text{тр}}} \cdot \frac{60}{1000}, \quad (1)$$

де $r_{\text{вк}}$ – радіус ведучого колеса, м; $n_{\text{дв}}$ – частота обертання колінчастих валів двигуна, хв^{-1} ; $i_{\text{тр}}$ – передавальне число трансмісії (БКП та бортової передачі).

У табл. 1 наведено основні параметри трансмісії танка БМ «Оплот».

Таблиця 1 – Параметри трансмісії танка БМ «Оплот»

№ з/п	Найменування	Величина
1	Повна маса, т	51,0
2	Довжина опорної поверхні, м	4,29
3	Ширина колії, м	2,8
4	Двигун 6ТД-2Е: – потужність, к.с.; – робочий діапазон зміни частот обертання валів, хв^{-1} ; – частота обертання колінчастих валів за максимальної потужності, хв^{-1}	1200
		1200–2850
5	Передавальні числа БКП для руху вперед: – на 1-й передачі; – на 2-й передачі; – на 3-й передачі; – на 4-й передачі; – на 5-й передачі; – на 6-й передачі; – на 7-й передачі	8,171
		4,4
		3,485
		2,787
		2,027
		1,467
		1,0
6	Передавальне число бортової передачі	4,8
7	Робочий радіус ведучого колеса, м	0,315
8	Швидкість руху, км/год: – по сухій ґрунтовій дорозі; – максимальна по дорозі з твердим покриттям	45
		70

У табл. 2 подано розрахункові максимальні швидкості руху ВГМ на кожній з передач переднього ходу, розрахунковий (фіксований) радіус повороту для кожної передачі, а також радіуси повороту, отримані за результатами випробувань.

Таблиця 2 – Розрахункові швидкості руху та радіуси повороту ВГМ

№ передачі	Швидкість руху, м/с	Розрахунковий радіус повороту, м	Радіус повороту за випробувань, м
I	2,39	1,4	1,4
II	4,45	4,667	4,7
III	5,62	12,064	12,5
IV	7,02	12,579	12,5
V	9,65	8,867	12,5
VI	13,34	8,735	14,2
VII	19,58	7,395	50,0

Для визначення мінімального радіуса повороту гусеничної машини, до значення якого, для заданих швидкості руху та дорожньо-ґрунтових умов, занос, під дією відцентрової сили, не виникає, скористаємося виразом [1]

$$R_{\text{мін}}^{\text{занос}} = \begin{cases} \frac{1,81 \cdot V_{\text{скр}}^2 \cdot L + \mu_{\text{max}} \cdot g \cdot B \cdot L - 0,19 \cdot V_{\text{скр}}^2 \cdot B}{2 \cdot L \cdot \mu_{\text{max}} \cdot g - 0,38 \cdot V_{\text{скр}}^2}; \\ \frac{1,93 \cdot V_{\text{скр}}^2 \cdot L + \mu_{\text{max}} \cdot g \cdot B \cdot L - 0,07 \cdot V_{\text{скр}}^2 \cdot B}{2 \cdot L \cdot \mu_{\text{max}} \cdot g - 0,14 \cdot V_{\text{скр}}^2}. \end{cases} \quad (2)$$

Для першого виразу при: $\frac{R_2 - \frac{B}{2}}{L} \leq 2,8$.

Для другого виразу при: $\frac{R_2 - \frac{B}{2}}{L} > 2,8$.

де $V_{\text{скр}}$ – мінімальна швидкість руху ВГМ, за якої можливе виникнення занесення, м/с; L – довжина опорної поверхні гусениць, м; μ_{max} – значення коефіцієнта опору повороту, яке визначається характеристикою ґрунту; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; B – ширина колії, м; R_2 – радіус повороту гусениці, що забігає, м.

У цьому випадку

$$V_{\text{скр}} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot \left(R_2 - \frac{B}{2} \right)}, \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт опору повороту.

Відповідно до формул (2) та (3) побудуємо залежність критичної швидкості руху ВГМ, що досліджується від відносного радіуса повороту за різних коефіцієнтів опору повороту (μ_{\max}), що подані на рис. 1.

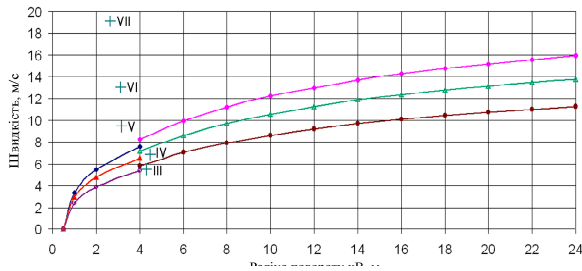


Рис. 1. Графік залежності критичної швидкості руху по занесенню від відносного радіуса повороту: $\mu_{\max} = 0,8$ (верхній); $\mu_{\max} = 0,6$ (середній); $\mu_{\max} = 0,4$ (нижній); $B = 2,8$ м

Також на рис. 1 позначені точки максимальних швидкостей руху ВГМ на кожній з передач переднього ходу з мінімальним розрахунковим радіусом повороту: 7-а, 6-а, 5-а, 4-а і 3-я передачі. По осі (x) значення необхідно множити на ширину колії ($B = 2,8$ м). Як видно з наведених графіків, при здійсненні повороту ВГМ на 5-й, 6-й та 7-й передачах включення передачі ($n-1$) на борту, що відстає (фіксований радіус повороту), спричинить за собою миттєве виникнення занесення і втрату керуваності машиною, особливо на таких грунтах, як: асфальт, бетон, лід та ін.

На рис. 2 подано залежність радіуса повороту ВГМ, обладнаної САКП, від кута повороту штурвала в режимі «Автомат», що отримана за результатами випробувань [6].

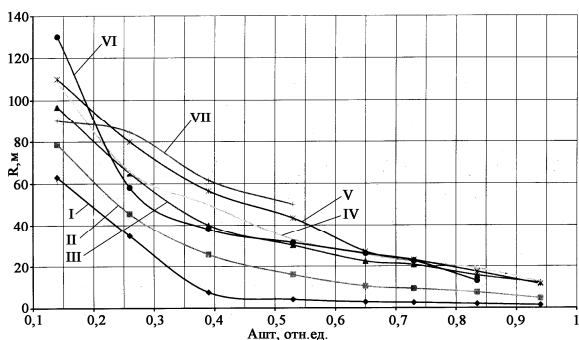


Рис. 2. Залежність радіуса повороту танка від кута повороту штурвала в режимі «Автомат»

Необхідно відзначити, що для визначення фактичного радіуса повороту гусеничної машини, залежно від кута повороту штурва-

ла в автоматизованому режимі руху, машину було обладнано осцилографом, за допомогою якого реєструвалися наступні параметри: частота обертання колінчастого вала двигуна, частота обертання лівого та правого ведучих коліс, кут повороту штурвала, положення педалі подачі палива та ін. Випробування проводилися на сухому дернистому ґрунті в червні–липні на полігоні ДП «ХКБМ» в Харківській області.

З графіків на рис. 2 видно, що в автоматизованому режимі руху ВГМ на передачах переднього ходу поворот машини починається практично відразу з початком повороту штурвала і триває протягом усього ходу штурвала аж до включення передачі ($n-1$) на борту, що відстає. У цьому разі, як видно з рис. 2, мінімальний радіус повороту машини в автоматизованому режимі руху, що отриманий за результатами випробувань, становить: на 1-й передачі – 1,4 м; на 2-й передачі – 4,7 м; на 3-й, 4-й та 5-й передачах – приблизно 12,5 м; на 6-й передачі – приблизно 14,2 м; на 7-й – приблизно 50 м. Необхідно відзначити, що апаратура САКП під час руху на 7-й передачі в автоматизованому режимі, за допомогою програмного керування електрогідроклапанами зчеплення-повороту механізмів управління, обмежує радіус повороту значенням приблизно 50 м, що видно з рис. 2. У цьому випадку здійснення повороту з даним радіусом під час руху на 7-й передачі, на швидкості, наближеній до максимальної, також виходить за межу занесення (рис. 1). Виконавши порівняння розрахункових (фіксованих) радіусів повороту (табл. 2) та мінімальних радіусів повороту, що отримані за результатами випробувань [6], необхідно відзначити наступне: при здійсненні повороту ВГМ на передачах з 1-ї по 4-ту розрахункові та мінімальні значення радіусів повороту за результатами випробувань практично збігаються; для 5-ї, 6-ї та 7-ї передач розрахункові радіуси повороту менше, ніж ті, що отримані за результатами випробувань, причому чим вище передача – тим більше становить різниця. Необхідно також відзначити, що при повороті ВГМ на швидкостях, наближених до максимальних для 5-ї, 6-ї та 7-ї передач з мінімальним радіусом повороту, що отримані за результатами випробувань для кожної з передач, машина виходить за межі занесення (рис. 1), що особливо небезпечно для ґрунтів з низькими зчіпними властивостями, які мають малий коефіцієнт опору повороту ($\mu_{\max} = 0,4$). Таким чином, при різкому пово-

роті штурвала та наближенні до мінімального радіуса повороту із включенням передачі ($n-1$) на борту, що відстає, для швидкостей руху з 5-ї передачі та вище – можливе виникнення занесення ВГМ під дією відцентрової сили. Отже, не всі траєкторії руху ВГМ, що задаються механіком-водієм через штурвал, можуть бути реалізовані машиною на місцевості, особливо за високих швидкостей руху. Досвідчені та підготовлені водії, залежно від швидкості руху ВГМ, дорожніх умов та крутизни повороту, відзначають необхідність зниження швидкості перед поворотом, за рахунок зменшення подачі палива або гальмування двигуном.

Розглянемо основні способи керування ВГМ, які обладнані БКП, що можуть сприяти запобіганню занесенню у процесі здійснення повороту.

1. Гальмування двигуном. У разі перевищення кривизни траєкторії, що реалізується машиною на місцевості, значення кривизни, що задається механіком-водієм через штурвал, можна обмежити або припинити подачу палива у двигун (короткочасно), в результаті чого двигун стає споживачем енергії у вигляді моменту опору. При виправленні кривизни повороту подача палива у двигун відновлюється (системою керування) і поворот триває. З огляду на високу динамічність повороту, застосування даного способу для запобігання занесенню може виявитися недостатнім.

2. Збільшення радіуса повороту шляхом виключення передачі ($n-1$) на борту, що відстає, та обертання гусениці борту, що відстає з вільним радіусом повороту. Застосування даного методу приведе до збільшення радіуса повороту та запобігання занесенню, що почалося. Зазначений спосіб може бути ефективним для регулювання руху гусеничної машини на межі наближення до занесення (рис. 1).

3. Гальмування борту, що забігає. У разі виникнення занесення, здійснення пригальмування борту, що забігає, є найбільш ефективним способом повернення машини до стабілізації повороту. Слід зазначити, що така можливість реалізується досвідченим механіком-водієм на гусеничних машинах, обладнаних важелями повороту (Т-64А, Т-80УД та ін.).

Проведені дослідження з моделювання руху ВГМ у повороті за низького коефіцієнта зчеплення з ґрунтом та при виникненні занесення [7] показали ефективність вказаного способу для запобігання занесенню. Однак слід зазначити, що чим вища швидкість руху

машини (5-а передача та вище), тим складніше буде вивести її зі стану занесення. Для ВГМ, які обладнані САКП, при загрозі виникнення занесення можна передбачити автоматичне включення гальмування борту, що запобігає, шляхом включення пониженої передачі ($n-1$) на ньому. У цьому випадку автоматизована система запобігання занесенню буде зчитувати інформацію про кривизну траєкторії, що задається механіком-водієм з датчика кута повороту штурвала, та порівнювати її з кривизною траєкторії, яка реалізується ВГМ на місцевості за датчиками частот обертання ведучих коліс відповідно до номера включеної передачі. На підставі спільного аналізу графіків рис. 1 та 2 визначено залежності між відносним кутом повороту штурвала та початком виникнення занесення ВГМ під дією відцентрової сили, що подані в табл. 3.

Таблиця 3 – Відносний кут повороту штурвала (відн. од.) за початком занесення

№ передачі	Коефіцієнт опору повороту, μ_{\max}			V , м/с
	0,8	0,6	0,4	
IV	–	–	0,88	7,02
V	0,85	0,78	0,63	9,65
VI	0,5	0,27	Занесення	13,34
VII	0,2	Занесення	Занесення	15,0

На рис. 3 подано функціональну схему системи запобігання занесенню ВГМ.

Система працює таким чином. Сигнали з датчиків частоти обертання лівого та правого ведучих коліс після фільтрації у блоках 1 та 2 надходять до блока 3 обчислення відносної частоти обертання ведучих коліс, який обчислює поточне вимірне значення радіуса повороту ВГМ на кожному такті роботи системи. Далі вимірне значення з блока 3 надходить до блока 4 для обчислення похідної відносної частоти обертання ведучих коліс, а також до блока 5. За такою послідовністю відбувається обчислення радіуса повороту ВГМ, який реалізується на місцевості у процесі здійснення повороту. Сигнал із датчика кута повороту штурвала, який задає механіком-водій у процесі повороту, надходить до блока 6 для обчислення заданої штурвалом відносної частоти обертання ведучих коліс і визначення необхідної величини радіуса повороту виробу на кожному такті роботи системи, необхідних за умовами руху.

Висновки

Розроблено механізм реалізації цифрової автоматизованої системи запобігання занесенню для ВГМ, обладнаної системою автоматизованого керування поворотом.

Запропоновано спосіб керування криволінійним рухом гусеничної машини в автоматизованому режимі, що забезпечує рух з максимальною швидкістю, наближеною до занесення.

Література

1. Волосніков С.А. Методика определения критической скорости движения гусеничной платформы по заносу / С.А. Волосніков // *Механіка та машинобудування*. – 2016. – № 1. – С. 36–44.
2. Толстолуцкий В.А. Выбор рациональных характеристик закона управления, реализованного в комплексной системе управления движением танка «Оплот» / В.А. Толстолуцкий, С.В. Стримовский // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2012. – № 4. – С. 88–99.
3. Зимин Д.Б. Сравнение танка «Оплот» и танков, находящихся на вооружении армии Украины, по частным характеристикам поворотливости / Д.Б. Зимин, Ю.В. Галушка // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2013. – № 3. – С. 44–49.
4. Зимин Д.Б. Сравнительный анализ эргономических показателей систем управления движением танка «Оплот» и танков, находящихся на вооружении армии Украины / Д.Б. Зимин, Ю.А. Слюсаренко, И.В. Клименко // *Механіка та машинобудування*. – 2012. – № 1. – С. 101–113.
5. Акт №286 от 23.11.2006 г. «О результатах завершения конструкторско-доводочных испытаний (КДИ) комплексной системы управления движением (КСУД)». Харьков: 2006. – 13 с.
6. Отчет №123 от 16.07.2007 г. О проведении предварительных испытаний комплексной системы управления движением (КСУД). Харьков: 2007. – 17 с.
7. Волосніков С.О. Вирішення математичної моделі руху гусеничної платформи за різних керуючих впливів / С.О. Волосніков // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* – 2017. – №40. – С. 94–100.

References

1. Volosnikov, S.A. (2016). Metodika opredeleniya kriticheskoy skorosti dvizheniya gusenichnoy platformy po zanosu [Method for determining the tracked vehicle critical speed

which results in skidding]. *Mehanika ta mashinobuduvannya - Mechanics and engineering*, 1, 36–44 [in Russian].

2. Tolstolutskiy, V.A., Strimovskiy, S.V. (2012). Vyibor ratsionalnykh harakteristik zakona upravleniya, realizovannogo v kompleksnoy sisteme upravleniya dvizheniem tanka «Oplot» [Rational features selection of the control algorithm, that was realized at complex movement control system of the tank «Oplot»]. *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya - Integrated technologies and energy efficiency*, 4, 88–99 [in Russian].
3. Zimin, D.B., Galushka, Yu.V. (2013). Sravnenie tanka «Oplot» i tankov, nahodyaschihsya na vooruzhenii armii Ukrainyi, po chastnyim harakteristikam povorotlivosti [Comparison of tank «Oplot» and the tanks being in operational service of Ukrainian army on the basis of particular characteristics of turnability]. *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya - Integrated technologies and energy efficiency*, 3, 44–49 [in Russian].
4. Zimin, D.B., Slyusarenko, Yu.A., Klimenko, I.V. (2012). Sravnitelnyiy analiz ergonomicheskikh pokazateley sistem upravleniya dvizheniem tanka «Oplot» i tankov, nahodyaschihsya na vooruzhenii armii Ukrainyi [The comparative analysis ergonomic parameters systems of control movement tank «Oplot» and the tank, which are being on arms army of Ukraine]. *Mehanika ta mashinobuduvannya - Mechanics and engineering*, 1, 101–113 [in Russian].
5. Akt vol. 286 ot 23.11.2006 g. O rezultatah zaversheniya konstruktorsko-dovodochnykh ispytaniy (KDI) kompleksnoy sistemy upravleniya dvizheniem (KSUD) [Act vol. 286 of 23.11.2006. About the results of the completion of the design and testing tests of the integrated motion control system]. Kharkov [in Russian].
6. Otchet vol. 123 ot 16.07.2007g. O provedenii predvaritelnykh ispytaniy kompleksnoy sistemy upravleniya dvizheniem (KSUD) [Report vol. 123 of 16.07.2007. About the conduct of preliminary tests of the integrated motion control system]. Kharkov [in Russian].
7. Volosnikov, S.O. (2017). Virishennya matematichnoyi modeli ruhu gusenichnoyi platformi za riznih keruyuchih vpliviv [Solution of mathematical model for tracked vehicle movement under different control actions]. *Avtomobilniy transport - Automobile transport*, 40, 94–100 [in Russian].

Волосніков Сергій Олександрович, інженер, тел. +38 063-765-75-54,

volosnikov@ukr.net

Саєнко Дмитро Валерійович, інженер,

тел. +380972322139, saenko-d@ukr.net

Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова, 61000, Україна, м. Харків, вул. Плеханівська, 126,

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE DIGITAL AUTOMATED SYSTEM TO PREVENT SKIDDING TRACKED VEHICLE

Volosnikov S., Saenko D., Kharkiv Morozov Machine Building Design Bureau

Abstract. The article suggests a mechanism for implementing a digital automated skid prevention system for a tracked vehicle equipped with automated control system of turn. **Problem.** In order to increase the average speed of the tracked vehicle as well as reduce the occurrence of skidding in curvilinear motion there was a need to create a digital automated skid prevention system, which can work in conjunction with the system of automated control of the turn. **Goal.** The purpose of the article is development and justification of principles of building a digital automated skidding prevention system for tracked vehicle with automated steering control system which uses the rotation method by turning on the gear ($n-1$) on the lagging board. **Methodology.** For each of the forward gears, the minimum turning radius of the tracked vehicle is determined to the value of which, for a given speed and road conditions, a drift caused by the centrifugal force does not occur. The dependence of the critical velocity of the tracked vehicle motion on the relative turning radius for various coefficients of resistance to turning is constructed. The shown dependence of the turning radius of the tracked vehicle equipped with an automated steering system on the steering angle in the «Automatic»

mode was obtained from the test results. **Results.** A mechanism has been developed for the implementation of the digital automated skid prevention system for tracked vehicle, which is equipped with an automated control system for turning. A method for controlling the curvilinear motion of the tracked vehicle in the automated mode is proposed, which ensures the motion with «maximum speed, close to skidding». **Originality.** The model of functioning is developed and the basic principles of construction of the digital automated skid prevention system for the tracked vehicle that is equipped with the automated control system of the turn are substantiated. **Practical value.** Theoretical conclusions, recommendations and methodological approaches allow performing the process of modelling the curvilinear motion of tracked vehicle to create an automated skidding prevention system in order to increase the characteristics of controllability and mobility.

Key words: tracked vehicle, skid tracked vehicle, critical speed for skidding conditions.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАНОСА ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

Волосников С. А., Саєнко Д. В.,
Харьковское конструкторское бюро
по машиностроению им. А.А. Морозова,

Аннотация. Разработан механизм реализации цифровой автоматизированной системы предотвращения заноса для ВГМ, оборудованной системой автоматизированного управления поворотом. Предложен способ управления криволинейным движением ВГМ в автоматизированном режиме, обеспечивающий движение с «максимальной по заносу» скоростью.

Ключевые слова: занос гусеничной машины, критическая скорость по заносу.