

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРОВАНОСТІ ГУСЕНИЧНИХ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН
БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ ЗА УМОВИ МОНТАЖУ ЇХ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ЗБОКУ ВІД
БАЗОВОГО ШАСІ****ENSURING CONTINUOUS OPERATION OF TRACKED EARTH-MOVING MACHINES
UNDER THE CONDITIONS OF MOUNTING THEIR WORKING EQUIPMENT ON THE SIDE
OF THE BASE CHASSIS**

Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: kandr@i.ua, тел.: +3805002408947,

<https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, SCOPUS id 5722005768

Анотація. У статті розглянуто питання визначення умов керованості стабільного переміщення землерийної машини безперервної дії за умови монтажу робочого обладнання збоку від базового шасі (тягача). Кризовий стан економіки країни вимагає розробки перспективних напрямів створення нової техніки, одним з них є створення універсальних базових шасі тягачів які можуть використовуватись для монтажу на них робочого обладнання машин різного технологічного призначення. Обладнання може монтуватися попереду, позаду, чи збоку тягача (шасі), а створена машина, в робочому режимі не повинна втрачати своєї керованості. Дослідження виконано на прикладі машини підбивання ґрунту під трубопровід МП-М обладнаної двома робочими органами – підсіпки ґрунту під трубою й ущільнення його під трубою. Задне та консольне розташування робочих органів неминуче приводить до зміщення центра мас машини назад щодо поздовжньої осі машини та убік ближньої до труби гусениці. До того ж, у момент обтиснення ґрунту під трубою ґрунтоущільнювальними лопатями в механізмі ущільнення виникає вертикальна складова реакції ґрунту, яка викликає поперечне зміщення центра тиску вбік дальньої від труби гусениці. За умови зчеплення гусениць з ґрунтом визначено можливий мінімальний радіус повороту машини підбивання ґрунту під трубопровід МП-М у робочому режимі на криволінійних ділянках трубопроводів різних діаметрів в різних ґрунтових умовах.

Ключові слова: гусеничне шасі, ґрунт, землерийна машина, зміщення, керованість, радіус повороту, центр тиску.

Вступ. Основні тенденції розвитку конструкцій, покращення техніко-економічних характеристик будівельних та дорожніх машин, в тому числі землерийних безперервної дії, взаємопов'язані між собою і пояснюються необхідністю підвищення експлуатаційних властивостей, безпеки виконання робіт, економічною ефективністю промислового виробництва машин. Це обумовлює необхідність вирішення подібних, однотипних задач в процесі створення дорожньо-будівельних машин різного технологічного призначення.

Підвищені вимоги виробників та користувачів машин до технічних та технологічних можливостей, техніко-економічних показників промислового виробництва та використання, рівня ергономічної та естетичної досконалості машин, визначають наявність на ринку спеціальної техніки для ефективного вирішення конкретних виробничих завдань галузевого та загальнодержавного значення.

Створення високоефективних, інноваційних конструкцій будівельних і дорожніх машин, в тому числі землерийних машин безперервної дії, не можливе без урахування зазначених вище тенденцій розвитку. Вказані тенденції завжди мають враховуватись в процесі конструювання нової техніки.

Рівень їх урахування визначатиме, в кінцевому рахунку, вартість машин та їх конкурентоздатність на ринку.

Кризовий стан економіки країни вносить свої корективи у формування та формулювання перспективних напрямів створення нової техніки, одним з них, на наш погляд, є створення універсальних базових шасі тягачів призначених для монтажу на них робочого обладнання машин різного технологічного призначення. Слід мати на увазі, що зазначене обладнання може монтуватися попереду, позаду, чи збоку тягача (шасі), а створена машина, в робочому режимі не повинна втрачати своєї керованості. Такий підхід забезпечить підвищення масовості виробництва нової техніки, знизить собівартість виготовлення машин, забезпечить можливість масового виробництва машин різного технологічного призначення. Для вирішення зазначеного питання створення універсального гусеничного шасі слід, насамперед, чітко визначити шляхи забезпечення керованості та поворотності машин при різних схемах компоновки їх робочого обладнання.

Аналіз результатів досліджень і публікацій. Ефективна робота спеціальних землерийних машин, як одного з видів дорожньо-будівельних машин обумовлюється, в першу чергу, стабільністю характеристик взаємодії їх ходового обладнання з опорною поверхнею ґрунту.

Порушення зазначеної стабільності може бути небезпечним, особливо під час роботи машин поблизу небезпечних об'єктів, наприклад магістральних нафто- або газопроводів, коли несанкціоноване зміщення машин може викликати навіть руйнування трубопроводу. Це найбільш небезпечно під час роботи машин на криволінійних ділянках магістральних трубопроводів. Мінімізація негативного впливу на стійкість та керованість машини зовнішніх навантажень, що виникають внаслідок взаємодії робочих органів машин з розроблюваним середовищем, конструктивних особливостей машин та режимів їх роботи, фізико-механічних властивостей ґрунту опорної поверхні є актуальною та вкрай важливою задачею, яка має бути вирішена на етапі проектування машин [1].

Результати виконаних досліджень прохідності гусеничних землерийних машин в різних ґрунтових умовах [2, 3], забезпечення необхідної стійкості машин на опорній поверхні в робочому та транспортному режимах [4, 5], покращення тягово-зчіпних якостей машин під час роботи в різних ґрунтових умовах та режимах експлуатації [2, 3] є основою для встановлення базових вимог до тягачів (шасі) спеціальних землерийних машин безперервної дії різного технологічного призначення.

В опублікованих роботах, для вирішення поставленого вище завдання, на наш погляд, мають місце ряд недоліків. Так, наприклад, під час визначення середнього тиску машин на ґрунт [2] враховується тільки маса машин, а діючі робочі навантаження не враховуються. Однак слід мати на увазі, що середній тиск на ґрунт є параметром умовним, який не може повною мірою визначати ходові якості машин.

В деяких роботах [2, 3, 6, 7] величина середнього тиску на ґрунт розглядається як показник прохідності гусеничної машини, шляхом обмеження поздовжнього зміщення центру тиску X , величиною $X < L/6$ (L – опорна довжина гусениці). За умови знаходження рівнодіючої всіх зовнішніх сил, що діють на машину в межах ядра перетину опорної поверхні машини, на думку авторів досліджень [8, 9], виключається відрив гусениць від опорної поверхні ґрунту, розподіл тиску під опорними поверхнями гусениць є прийнятним, що і забезпечує стабільність контакту гусениць з ґрунтом та, відповідно, стійкість роботи ходового обладнання і машини в цілому. Зрозуміло, що вказаний висновок справедливий тільки стосовно машин дія зовнішніх робочих навантажень на робоче навантаження котрих має місце в передній, або задній частинах корпусу шасі і не поширюється на машини, зовнішні навантаження під час роботи яких прикладено збоку. В такому випадку можливий відрив від опорної поверхні однієї, або іншої гусениці.

Положення координат центру тиску на ґрунт спеціальних землерийних машин безперервної дії в процесі їх створення, мають визначатись з урахуванням зовнішніх навантажень, координат їх прикладання, насамперед, навантажень, що діють на робоче обладнання машин.

Необхідність забезпечення стабільного переміщення землерийних машин відносно діючого магістрального трубопроводу, наприклад, на прямих та криволінійних його ділянках потребує максимальної керованості машин, що може бути досягнуто за умови максимального можливого приведення центру тиску на ґрунт до геометричних центрів опорних контурів. Завдання має бути вирішеним комплексно – для варіантів монтажу робочого обладнання як на кормі, так і попереду, чи збоку тягача (шасі) за умови обладнання машин додатковими опорними лижами, та без них.

Мета дослідження. Визначення умов керованості стабільного переміщення землерийної машини безперервної дії за умови монтажу робочого обладнання збоку від базового шасі (тягача).

Основна частина. У комплексі машин для капітального ремонту магістральних трубопроводів машина підбивання ґрунту під трубопровід МП-М виконує завершальні операції – забирає ґрунт з відвалу підбирачем, транспортує його стрічковим конвеєром у траншею під трубу та ущільнює ґрунт під трубопроводом спеціальним робочим обладнанням [10].

Характерною ознакою машини підбивання ґрунту під трубопровід МП-М [10] є наявність двох робочих органів – підсіпки ґрунту під трубопровід та його ущільнення, задні і консольне розташування котрих неминуче приводить до зміщення центра мас назад щодо поздовжньої осі машини та убік ближньої до труби гусениці. До того ж, у момент обгиснення ґрунту під трубою ґрунтоущільнювальними лопатями в механізмі ущільнення виникає вертикальна складова реакції ґрунту, яка викликає поперечне зміщення центра тиску вбік дальньої від труби гусениці.

Розглянемо вплив такого зміщення центра мас на стійкість руху машини в прямолінійному і в поворотному режимі, рис. 1.

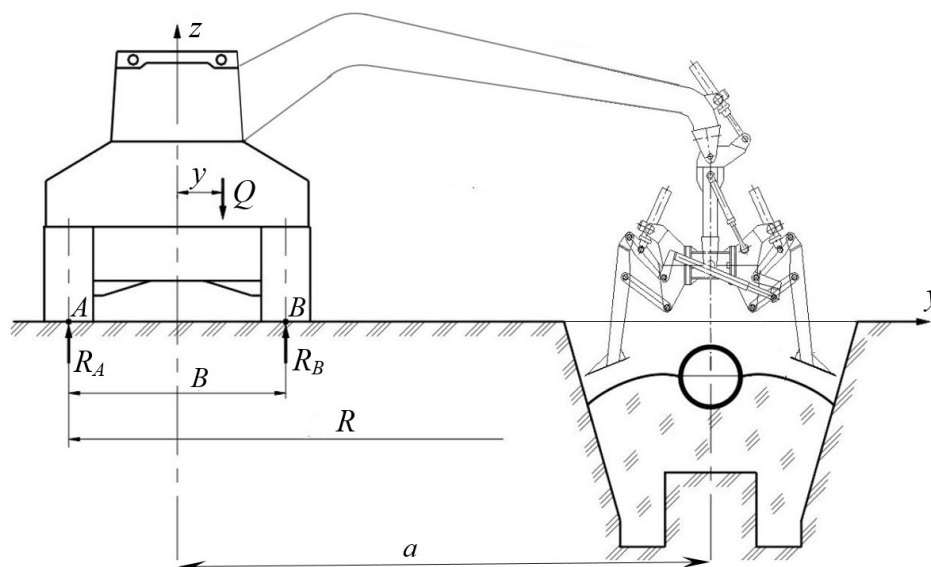


Рисунок 1 – Схема до розрахунку.
Figure 1 – Scheme for calculation

Подовжнє зміщення центра тиску, викликане розташуванням центра мас машини, або ж зовнішніми силами, прикладеними до машини, приводить до зміщення з поперечної осі ходового устаткування полюсів повороту гусениці, полегшуючи умови повороту.

Момент опору повороту машини визначає вираз:

$$M_{\text{пов}} = \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4} \cdot K, \quad (1)$$

де Q – рівнодійна прикладених до машини сил; L – опорна довжина гусениці; μ – коефіцієнт опору повороту; K – коефіцієнт, який враховує зменшення моменту опору повороту. $K \leq 1$ [11].

Наявність поперечного зміщення центра тиску y (рис. 1) приводить до перерозподілу вертикальних навантажень на гусениці і сил тяги в них (залежно від зовнішніх характеристик приводів обох бортів), одностороннього зносу деталей ходової частини однієї з гусениць, а також до самочинного відхилення машини від заданого курсу під час її некерованого переміщення.

Нормальні реакції на гусеницях у такому разі можна визначити з рівняння моментів щодо полюсів A і B :

$$R_A = \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right); \quad (2)$$

$$R_B = \frac{Q}{2} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot y}{B}\right). \quad (3)$$

Тут B – колія машини.

Тягові зусилля в гусеницях під час повороту гусеницею A будуть:

$$P_A = f \cdot R_A + \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4 \cdot B} \cdot K; \quad (4)$$

$$P_B = f \cdot R_B - \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4 \cdot B} \cdot K, \quad (5)$$

де f – коефіцієнт опору переміщенню машини.

Проблеми з поворотом машини, що має поперечне зміщення центра тиску, можуть виникнути тоді, коли зовнішньою під час повороту буде менш навантажена нормальною силою гусениця A , яка змушена для повороту машини реалізовувати великі тягові зусилля.

Для повороту на горизонтальній площадці необхідно забезпечити виконання умови:

$$\varphi \cdot R_A \geq P_A, \quad (6)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення гусениці з ґрунтом; R_A, P_A – нормальна реакція та тягове зусилля в дальній від труби гусениці A , яка є зовнішньою під час повороту (див. рис. 1), відповідно.

Підставимо вирази для R_A (2) і P_A (4) у формулу (6):

$$\varphi \cdot \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right) \geq f \cdot \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right) + \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4 \cdot B} \cdot K. \quad (7)$$

Звідси маємо:

$$\frac{L}{B} \leq \frac{2 \cdot (\varphi - f)}{\mu \cdot K} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right). \quad (8)$$

Враховуючи, що машина МП-М працює на трубі за усіма вимогами підвищеної безпеки, які впливають із цього, надмірне буксування зовнішньої гусениці під час повороту в робочому режимі вкрай небажане. Тому проаналізуємо детальніше формулу (8) для реальних ґрунтових умов з урахуванням конструктивних параметрів базового шасі.

За заданого співвідношення L/B (для самохідного шасі ШБ-1 $L/B = 1,7$) в реальних ґрунтових умовах гарантований поворот машини можливий із радіусом не менше мінімального, знайденого з умови зчеплення зовнішньої під час повороту гусениці з ґрунтом. Визначимо цей радіус для машини МП-М.

Коефіцієнт опору повороту, що відповідає мінімальному припустимому радіусу повороту, визначимо з виразу (8):

$$\mu = \frac{2 \cdot (\varphi - f)}{\frac{L}{B} \cdot K} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right). \quad (9)$$

Залежність коефіцієнта опору повороту і радіуса повороту машини зв'язує емпірична формула А. О. Нікітіна [12]:

$$\mu = \frac{\mu_{max}}{0,85 + 0,15 \cdot \frac{R}{B}} \quad (10)$$

де μ_{max} – коефіцієнт опору повороту з повністю загальмованою гусеницею; R – радіус повороту машини по зовнішній гусениці (див. рис. 1); B – колія машини.

Звідси

$$\frac{R}{B} = \frac{\mu_{max}}{0,15 \cdot \mu}, \quad (11)$$

а мінімальний допустимий радіус повороту

$$R_{min} = B \cdot \frac{\mu_{max} - 0,85}{0,15 \cdot \mu}. \quad (12)$$

Для порівняння візьмемо два характерних типи ґрунтових умов, що максимально охоплюють діапазон можливих характеристик опорних поверхонь: нормальну – суху щільну ґрунтову поверхню ($\mu_{max} = 0,8; f = 0,1; \varphi = 0,8$) та екстремальну – суглинну розпушену вологу поверхню, коли, з одного боку, утворюється глибока колея й утруднюється рух і поворот машини, а з іншого – на вологій поверхні зменшується коефіцієнт зчеплення гусениць з ґрунтом ($\mu_{max} = 0,5; f = 0,15; \varphi = 0,4$), що може трапитися, коли підбирач машини МП-М не підбирає перед собою весь зволожений відвал після машини розкриття трубопроводів МВТ-М і гусениці рухаються по розпушеному ґрунту.

Прийнявши прямокутну епіюру тиску гусениць на ґрунт (тобто $K = 1$), що є гіршим, з погляду повороту машини, випадком, з формул (8) та (12) визначимо допустимий радіус повороту МП-М залежно від поперечного зміщення центра тиску y . Результати розрахунків наведено на рис. 2, де крім отриманих кривих $R_{max} = f(y)$, також вказано допустимі радіуси кривизни (в плані) трубопроводів, які мають бути не меншими $60D_{mp}$ (D_{mp} – діаметр трубопроводу).

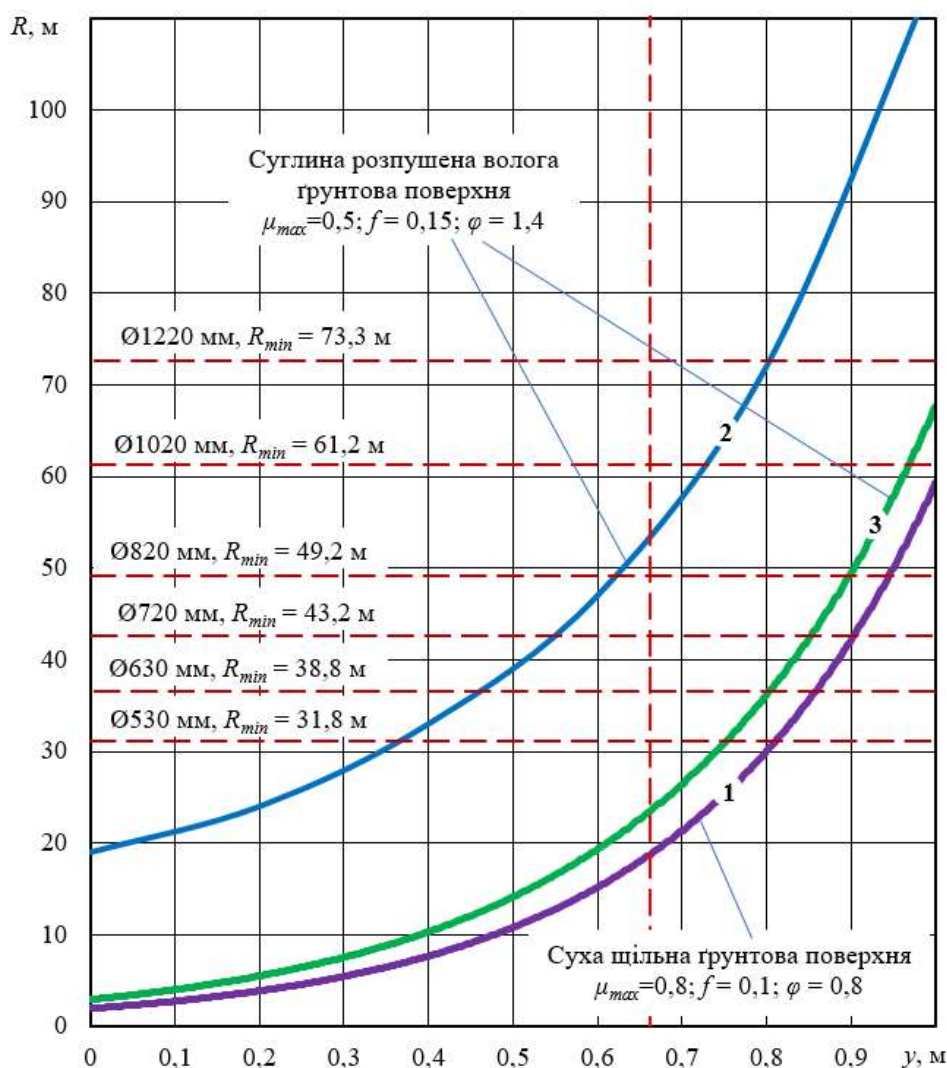


Рисунок 2 – Залежність мінімального радіуса повороту машини від поперечного зміщення центра тиску

Figure 2 – Dependency between the minimal turning radius of the machine and transverse translocation of the pressure center

З рис. 2 видно, що, оскільки для машини МП-М реальне поперечне зміщення центра тиску $y = 0,685$ м, то для нормальних ґрунтових умов жодних проблем з поворотом машини в робочому режимі на криволінійних ділянках трубопроводів різних діаметрів немає (крива 1). Крива 2 показує,

що в екстремальних ґрунтових умовах під час повороту машини на зовнішніх кривих трубопроводів діаметром 820 мм і менше через надмірне буксування гусениці, яка працює у ведучому режимі, можлива втрата поворотності МП-М. Тому робота в таких умовах потребує підвищеної уваги машиніста та оператора машини.

Проте тут доречно нагадати, що перед початком дослідження залежностей мінімального радіуса повороту від поперечного зміщення центра тиску було прийнято припущення, що поздовжнього зміщення центра тиску (як гірший випадок) немає. Але в машини МП-М воно, внаслідок заднього розташування механізму ущільнення, постійно є, і результат цього виявляється в епюрі тисків під гусеницею, що насправді не прямокутна, а трапецієподібна, або ж така, що наближається до повної трикутної. З урахуванням цього, на рис. 2 показано графік (крива 3) залежності мінімального радіуса повороту від поперечного зміщення центра тиску для трикутної епюри тиску під гусеницею ($K = 0,78$). З графіка випливає, що під час роботи тільки на трубі $\varnothing 530$ мм можливий утруднений поворот машини в екстремальних умовах.

Таким чином, на графіках нижче конкретної кривої розташована область утрудненого повороту машини, викликаного спробою повернути її дальньою від труби гусеницею, яка переважну частину робочого циклу обтиснення ґрунту ґрунтоущільнювальними лопатями менше завантажена вертикальними силами, ніж ближня.

Висновки

1. Отримана залежність визначення мінімального допустимого радіусу стабільно керованого повороту гусеничної машини з робочим органом, розміщеним збоку від шасі, дозволяє визначити величину вказаного радіуса в широкому діапазоні зміни фізико-механічних характеристик опорних поверхонь ґрунту по яких переміщується машина.
2. Встановлено залежність зміни мінімального радіусу стабільного повороту гусеничної машини з робочим обладнанням розміщеним збоку від шасі від величини поперечного зміщення центра тиску.
3. Визначено умови утрудненого повороту гусеничної машини в екстремальних умовах.

Перелік посилань

1. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Теорія та створення інноваційних землерийних машин безперервної дії: монографія. Видання друге, доповнене Київ, 2018. 280 с.
2. Гуськов В.В., Велев Н.Н., Адаманов Ю.Е. Тракторы: Теория. М., 1988. 376 с.
3. Домбровский Н. Г., Маевский А. Г., Гомозов И. М., Гилиц И. М. Теория и расчет гусеничного движителя землеройных машин. Киев, 1970. 192 с.
4. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Визначення силового навантаження базового шасі універсальної землерийної машини з віяльно-поступальною подачею її робочого обладнання на забій. Сб. научн. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. № 79. – Днепропетровск: ГВУЗ "ПГАСА", 2014. — С. 133-140.
5. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Зменшення інерційних та динамічних навантажень універсальної землерийної машини. Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. Polska : Politechnika Rzeszowska, 2013. p. 129-138.
6. Остоверх О.О., Краснокутський В.М., Крюкова Т.О. Керованість та стійкість руху тракторів : навч. посіб. Харків, 2021, 156 с.
7. Платонов В.Д. Гусеничные транспортеры тягачи. М., 1978. 351 с.
8. Опейко Ф.А. Колісний і гусеничний ход. Минск, 1960, – 228 с.
9. Гинзбург Ю.В., Швед А.И., Парфенов А.П. Промышленные тракторы. М.: Машиностроение, 1986. – 296 с.
10. Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Салюк В.Л. Удосконалення робочого органа для ущільнення ґрунтового ложа магістральних трубопроводів. Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. Зб. наук. праць. Вып. 13. – К.: НТУ, 2002. – С. 89 – 94.
11. Карельских Д.К., Кристи М.К. Теория, конструкция и расчет тракторов. М.-Л., 1940, 521 с.
12. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М., Машиностроение, 1975, 424 с.

CONTROLLABILITY ASSURANCE IN CONTINUOUSLY OPERATING TRACKED EARTHMOVING MACHINES UNDER CONDITIONS OF WORKING EQUIPMENT MOUNTING TO THE SIDE FROM THE BASE CHASSIS

Koval Andrii B., Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of engineering of transport construction machines, e-mail: kandr@i.ua, +3805002408947, <https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, SCOPUS id 57220055768

Abstract. This paper presents the problem of determination of stable transposition controllability conditions for the continuously operating earthmoving machine under conditions of working equipment mounting to the side from the base chassis (towing unit). The economical crisis in the country requires promising directions in the new technology creation, one of which is the creation of multipurpose towing units designated for mounting working equipment for different technological purposes. Such equipment can be mounted at the front, back, or side of the towing unit (chassis) and the machine created in such a way should not lose controllability in its operational mode.

The characteristic feature of the machine for soil padding under the pipeline (МП-М) is the presence of two implements - upfilling and compaction implements. They have a rear overhanging position which unavoidably leads to displacement of the machines center of mass to the back side in relation to transverse axis and in the direction of the track that is near to the pipe in relation to longitudinal axis of the base chassis. Besides, at the moment of soil compaction under the pipe by the blade, in vertical component of the soil reaction appears in the compaction mechanism which leads to transverse dislocation of the pressure center towards the track that is farther from the pipe. Based on condition of traction between tracks and soil, the minimal possible turning radius was determined for the machine for soil padding under the pipeline -МП-М in the working mode on the curvilinear section of the pipeline of different diameters.

Keywords: crawler chassis, soil, earthmoving machine, translocation, controllability, turning radius, pressure center.

References

1. Musiiko V. D., Koval A.B. Teoriia ta stvorennia innovatsiinykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii (Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous action) Kyiv. Vydavnytstvo Ludmyla Publ. 2018. 280 s. [in Ukrainian].
2. Guskov V.V., Velev N.N., Adamov Yu.E. Traktory: Teoriya (Tractors: theory). M., 1988. 376 s. [in Russian].
3. Dombrovskiy, N.G., Maevskiy A.G., Gomofov I.M., Gilis I.M. Teoriya i raschet gusenichnogo dvizhetelya zemleroynykh mashyn (Theory and calculation of the caterpillar mover of earthmoving machines). Kiev, 1970. 192 s. [in Russian].
4. Musiyko V.D., Koval A.B. Vuznachennia sylovoho navantazhennia bazovoho shasi universalnoi zemleryinoi mashyny z viialno-postupalnoiu podacheiu ii robochoho obladnannia na zabiy (Determination of the power load of the basic chassis of a universal earthmoving machine with a fan-forward feed of its working equipment to the slaughter). Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashynostroenie. Intensyfikatsiia rabochikh protsessov stroitelnykh s dorozhnykh mashyn. Seriya: Polemno-transportnye, stroitelnye s stroitelnykh i dorozhnykh mashyn I oborudovanie. № 79. Dnepropetrovsk, 2014. S. 133-140. [in Ukrainian].
5. Musiyko V.D., Koval A.B. Zmenschennia inertsii i dynamichnykh navantazhen universalnoi zemleryinoi mashyny (Reduction of inertial and dynamic loads of universal earthmoving machines). Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. Polska : Politechnika Rzeszowska, 2013. p. 129-138. [in Ukrainian].
6. Ostroverkh O.O., Krasnokutskiy V.M., Kriukova T.O. Kerovanist ta stiykist rukhu traktoriv (Maneuverability and stability of tractor movement) : Tutorial. Kharkiv, 2021, 156 s. [in Ukrainian].
7. Platonov V.D. Gusenichnye transportery i tyagashi (Tracked conveyors tractors). Moscow, 1978. 351 s. [in Russian].
8. Ореуко F.A. Kolisnyi i husenychnyi khod (Wheeled and tracked) Минск, 1960, – 228 с. [in Ukrainian].
9. Ginzburg Yu.V., Shed A.I., Parfenov A.P. Promyshlennyye traktory (Industrial tractors). Moscow, 1986. 296 s. [in Russian].

10. Biliakovych M.O., Kuzminets M.P. Saluk V.L. Udoskonalennia robochoho orhana dlia ushchilnennia gruntovoho lozha mahistralnykh truboprovodiv (Improvement of the working body for compaction of the soil bed of main pipelines). Systemni metody keruvannia, tekhnolohiia ta orhanizatsiia vyrobnytstva, remontu i ekspluatatsiia avtomobiliv. Kyiv, 2002. № 13. S. 89 – 94. [in Ukrainian].

11. Karelskykh D.K., Kristi M.K. Teoriya, konstruktsiya i raschet traktorov (Theory, design and calculation of tractors) Moscow - Leningrad, 1940, 521 s. [in Russian]

12. Zabavnikov N.A. Osnovy teorii transportnykh gusenichnykh mashyn (Fundamentals of the theory of transport tracked machines) Moscow, 1975, 424 s. [in Russian]