

МЕТОДИ УТРИМАННЯ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ НА ЗАПЛАНОВАНІЙ ТРАЕКТОРІЇ РУХУ

© Олейнікова О.М., Шевченко В.О., Бондаренко Д.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Інформація про авторів:

Олейнікова Олександра Михайлівна: ORCID 0000-0002-5373-9680; olexandrachaplygina@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, Україна.

Шевченко Валерій Олександрович: ORCID 0000-0001-8707-1837; valery03102016@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, Україна.

Бондаренко Дмитро Володимирович: ORCID 0000-0001-9092-7894; dbndrnk@gmail.com; аспірант каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002, Україна.

Одним із перспективних напрямів удосконалення землерийної техніки, зокрема землерийно-транспортних (ЗТМ) та навантажувальних (НМ) машин, є підвищення їх курсової стійкості під час руху по запланованій траєкторії.

Наслідками сходу ЗТМ з траєкторії руху можуть стати: зниження продуктивності машини, зростання собівартості виконуваних робіт, поява аварійних ситуацій.

Відхилення реальної траєкторії руху від запланованої відбувається внаслідок появи додаткових збурюючих зусиль як у транспортному режимі руху ЗТМ та НМ, так і під час виконання технологічних операцій.

Виконаний огляд науково-технічної літератури дозволив визначити основні методи забезпечення курсової стійкості ЗТМ та НМ. До цих методів слід віднести:

- автоматизоване керування положенням машини та її робочого обладнання за допомогою зовнішніх систем стеження;
- автоматизоване керування положенням машини та її робочого обладнання на підставі інформації, отриманої від датчиків, встановлених на самій ЗТМ;
- введення до конструкції ЗТМ та НМ додаткових пристосувань, які змінюють параметри самої машини, параметри навантаження робочого обладнання, параметри навколишнього середовища та ін.

На підставі аналізу конструкцій сучасних ЗТМ та НМ, а також патентного пошуку визначені та класифіковані основні напрями вдосконалення машин з метою покращення показників курсової стійкості. Основними сучасними напрямками підвищення показників курсової стійкості ЗТМ та НМ є використання наступних конструктивних засобів: супутникові системи, системи лазерного наведення, системи контролю положення за зовнішнім копійом, системи зміни кута повороту керованих коліс у горизонтальній площині, системи зміни кута повороту коліс у вертикальній площині, системи зміни положення центра ваги ЗТМ та НМ, системи підвищення коефіцієнта зчеплення, системи зменшення збурюючих зусиль, системи компенсування збурюючих зусиль додатковими робочими зусиллями.

Проведений аналіз дозволив розробити декілька конструктивних пропозицій щодо утримання машини на запланованій траєкторії руху. Порівняння витрат на використання визначених методів утримання машини на запланованій траєкторії руху показав, що

найбільш дешевим є використання додаткових пристосувань, які дозволяють змінювати параметри самої ЗТМ та НМ.

Ключові слова: землерийно-транспортна машина, курсова стійкість, траєкторія руху, метод утримання, конструктивна пропозиція.

Olieinikova O., Shevchenko V., Bondarenko D. “Methods of keeping an earth-moving machine on the planned trajectory of movement”.

One of the promising areas of improvement of earth-moving machinery, in particular earth-moving machines and loading machines, is to increase their road-holding ability during movement along the planned trajectory.

Consequences of the departure of earth-moving machines from the trajectory of movement can be: a decrease in the productivity of the machine, an increase in the cost of the work performed, and the occurrence of emergency situations.

Deviation of the real trajectory of movement from the planned one occurs due to the appearance of additional disturbing forces both in the transport mode of movement of earth-moving machines and loaders, and during the execution of technological operations.

The review of the scientific and technical literature made it possible to determine the main methods of ensuring road-holding ability of earth-moving machines and loaders. These methods should include:

- automated control of the position of the machine and its working equipment using external tracking systems;
- automated control of the position of the machine and its working equipment on the basis of information received from the sensors installed on the earth-moving machine itself;
- the introduction of additional devices into the construction of earth-moving machines and loaders that change the parameters of the machine itself, the load parameters of the working equipment, the parameters of the environment, etc.

On the basis of the analysis of the designs of modern earth-moving machines and loading machines, as well as the patent search, the main areas of improvement of the machines with the aim of enhancing road-holding ability indicators have been determined and classified. The main modern trends in improving the road-holding ability indicators of earth-moving machines and loaders are the use of such constructive means as satellite systems, laser guidance systems, position control systems by external copier, systems for changing the angle of rotation of steered wheels in the horizontal plane, systems for changing the angle of rotation of wheels in vertical plane, systems for changing the position of the center of gravity of earth-moving machines and loaders, systems for increasing the coupling coefficient, systems for reducing disruptive forces, systems for compensating disruptive forces with additional working forces.

The conducted analysis made it possible to develop several constructive proposals for keeping the machine on the planned trajectory of movement. A comparison of the costs of using certain methods of keeping the machine on the planned trajectory showed that the cheapest one is the use of additional devices that allow changing the parameters of the earth-moving machine and loaders.

Keywords: earth-moving machine, road-holding ability, movement trajectory, maintenance method, constructive proposal.

Вступ

До ЗТМ зазвичай відносять бульдозери, скрепери, автогрейдери, однокошові навантажувачі і т.д. [1]. Характерною особливістю цих машин є дуальність формування режимів навантаження під час експлуатації. Забезпечується це наявністю двох діапазонів швидкостей руху машини. Так, під час переїзду з одного робочого об'єкта на інший, а також

при переміщенні на робочому майданчику ЗТМ можуть рухатися з підвищеними швидкостями (транспортний режим руху). У процесі виконання робочих операцій, пов'язаних з обробкою або переробкою ґрунтів та будівельних матеріалів, ЗТМ переміщуються, як правило, зі зниженими швидкостями (робочий режим руху). У кожному з цих режимів руху можливе відхилення машини від запланованої траєкторії руху. Причиною цього є дія зовнішніх навантажень, що дестабілізують:

- для транспортного режиму це можуть бути відцентрові сили під час руху машини на повороті;

- у робочому режимі це бічні та позацентрово прикладені сили, що діють на робочий орган ЗТМ. Сюди можна додати і додаткові бічні сили від ваги машини у разі, коли ЗТМ працює на майданчику з поперечним ухилом.

Відхилення реальної траєкторії руху ЗТМ від запланованої в робочому режимі призводить до необхідності виконання додаткових проходів, а отже, до зниження продуктивності, збільшення витрати палива та підвищення собівартості продукції. У транспортному режимі можлива поява аварійних ситуацій, пов'язаних із втратою стійкості машини, зіткненням з іншими машинами та елементами навколишнього оточення.

Метою запропонованої статті є класифікація та аналіз методів утримання ЗТМ на запланованій траєкторії руху, розробка конструктивних пропозицій щодо забезпечення курсової стійкості ЗТМ.

Огляд методів, які забезпечують курсову стійкість ЗТМ

Огляд науково-технічних джерел, присвячених забезпеченню курсової стійкості машин, зокрема ЗТМ [2, 3, 4, 5], дозволяє зробити наступні висновки:

- 1) існує декілька методів, які дозволяють утримати ЗТМ на запланованій траєкторії руху;

- 2) до цих методів відносяться:

- автоматизоване керування положенням машини та її робочого обладнання за допомогою зовнішніх систем стеження;

- автоматизоване керування положенням машини та її робочого обладнання на підставі інформації, отриманої від датчиків, встановлених на самій ЗТМ;

- введення до конструкції ЗТМ додаткових пристосувань, які змінюють параметри самої машини, параметри навантаження робочого обладнання та ін.

Огляд та аналіз конструктивних засобів, які забезпечують курсову стійкість ЗТМ.

Найбільш сучасними методами є керування рухом машини за допомогою супутникових навігаційних систем GPS, GALILEO та інші [4, 6, 7, 8]. Структурна схема такої автоматизованої системи управління рухом представлена на рис. 1.

Перевагами цих систем є: висока точність (можливе відхилення від запланованої траєкторії не перевищує декількох сантиметрів) [8]; можливість повної автоматизації процесу переміщення машини під час виконання технологічної операції. Найбільш відомими представниками подібних пристроїв є фірми Trimble, LeicaGeosystemsCase, TopconPositioningInc [9, 10, 11].

До недоліків супутникових систем автоматизованого управління слід віднести наступне:

- устаткування може бути встановлене тільки на сучасних машинах, які мають електрогідравлічні системи керування виконавчими пристроями. Машини з іншими системами керування не відповідають технічним вимогам. Встановлення супутникових систем на таких машинах недоречно;

- висока вартість у порівнянні з вартістю усієї машини. Це суттєво збільшує собівартість продукції.

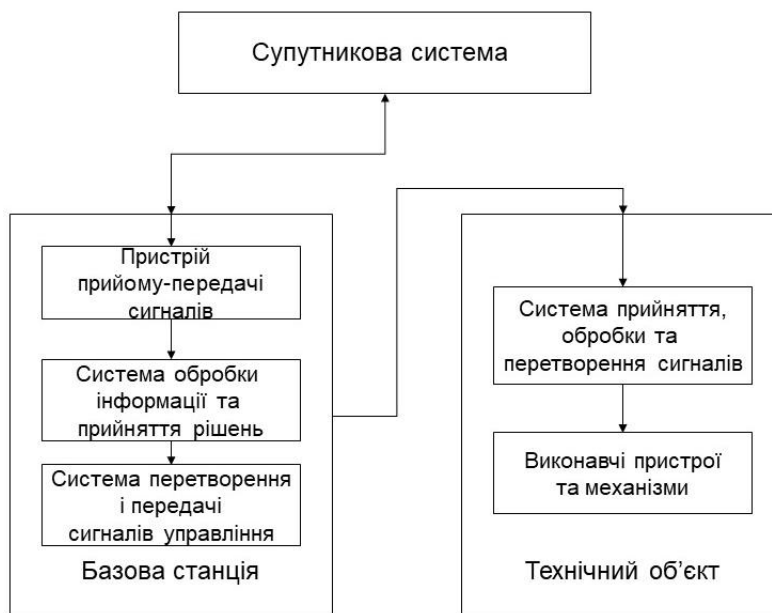


Рис. 1 – Структурна схема супутникової автоматизованої системи керування рухом технічного об'єкта

Таким чином, перед установкою і використанням систем супутникової навігації необхідно виконувати детальний конструкторський і економічний аналіз.

Найбільшого розповсюдження набули системи нівелювання руху технічних об'єктів, зокрема ЗТМ (автогрейдери), за допомогою лазерних і механічних систем копіювання [10, 11]. Наприклад, система "Профіль-30" має двоконтурну систему, яка стабілізує рух автогрейдера за заданим курсом. До складу такої системи входить щуповий датчик і датчик повороту сошки кермового управління. Керованим параметром у підсистемі є відстань від осі автогрейдера до копірного троса. У навігаційних лазерних системах замість троса використовується лазерний промінь. До основних недоліків таких систем відноситься великий обсяг підготовчих робіт, пов'язаних з установкою та налаштуванням для виконання кожної технологічної операції. Це може призвести до спаду продуктивності і підвищення собівартості продукції.

У великій кількості винаходів та серійно виготовляємих систем стабілізації руху машин використовуються штатні засоби керування рухом машини, які на ній вже встановлені. До таких засобів відносять системи управління керованими колесами машин, системи повороту напіврам шарнірно-з'єднаних машин та системи управління ходовим обладнанням гусеничних машин. Зазвичай використовується можливість повороту самої машини у горизонтальній площині для повернення її на заплановану траєкторію руху.

Наприклад, для сільськогосподарчих машин розроблені системи автоматичного підрулювання UniDrive (Угорщина), автопілот GeoSteer фірми AgLeader, автопілот SmarTrax MD фірми Raven та ін. Ці прилади не дозволяють виникати пропускам і напусткам під час проведення аграрних робіт [12,13].

Крім автоматичного регулювання кута повороту керованих коліс у горизонтальній площині, для запобігання бічного зміщення машини використовують метод нахилу коліс у вертикальній площині під час роботи на ухилі, який використовувався у багатьох ЗТМ. Прикладом системи, яка регулює положення керованих коліс машини в залежності від поперечного ухилу опорної поверхні, може служити передній керований міст автогрейдера [14]. Для стабілізації траєкторії руху машини, на ній встановлена система, яка дозволяє в залежності від кута поперечного ухилу опорної поверхні змінювати нахил керованих коліс у вертикальній площині.

Найдешевшим та найпростішим методом забезпечення курсової стійкості технічного об'єкта є введення до його конструкції додаткових приладів (рисунок 2).

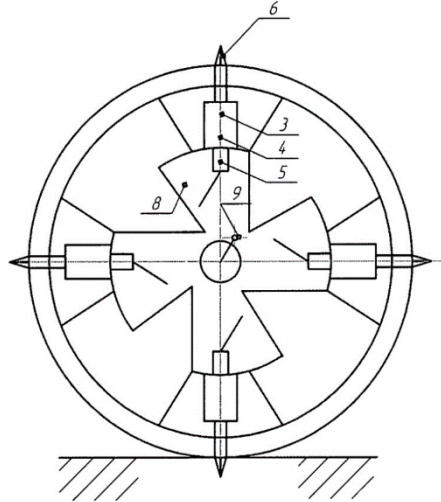


Рис. 2 – Пристрій для уникнення бічних зміщень колеса

Прикладами таких систем є прилади, які забезпечують зростання коефіцієнта зчеплення рушіїв у бічному напрямі [15]. Такі пристрої можливо використовувати тільки в особливих умовах роботи машин на сипких ґрунтових поверхнях.

Деякі автори пропонують встановлювати додаткове робоче обладнання, яке дозволяє компенсувати дію бічних сил з боку основного робочого органу [16]. Для автогрейдерів пропонується разом з основним відвалом встановлювати додатковий відвал, який при виконанні планувальних операцій розвертається протилежно до кута встановлення основного відвала.

На машинах, обладнаних активним робочим органом, багато авторів рекомендують встановлювати системи, які стабілізують напрямок руху, безпосередньо на робочому обладнанні, рисунок 3 [17].

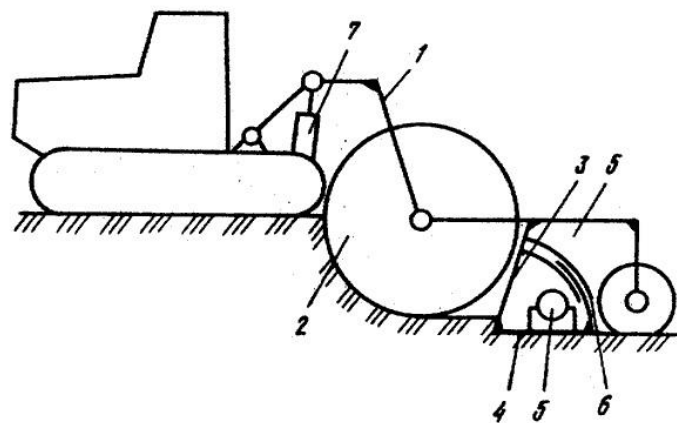


Рис. 3 – ЗТМ з механізмом напрямку руху робочого органу: 1 – рама базової машини; 2 – робочий орган; 3 – зачисний ніж; 4 – опорна лижа; 5 – датчик напрямку руху; 6 – криволінійна телескопічна напрямна; 7 – гідроциліндр

Найчастіше ці системи складаються з двох елементів: датчика напрямку руху і напрямного пристрою. В даному конкретному пристрої замість останнього використовується

опорна лижа. Нерідко пропонується використовувати напрямні пристрої, котрі встановлюються на робочому органі, та формують додаткові сили реакції середовища.

Деякі автори пропонують для утримання машини на запланованій тректоїї руху змінювати положення центра ваги. Прикладами таких систем є технічні рішення [18]. На рисунку 4 представлена конструкція автогрейдера, обладнаного додатковим робочим органом у вигляді розпушувача, який встановлено на рамі в задній частині машини.

Розпушувач виготовлений таким чином, що може рухатись по несучій рамі в поперечному напрямку. Розбіг між значеннями тягових зусиль по бортах балансиру вантажів дозволяє отримати в горизонтальній площині додатковий крутний момент, який протидіє дестабілізуючим моментам, що викликані зусиллями на робочому органі.

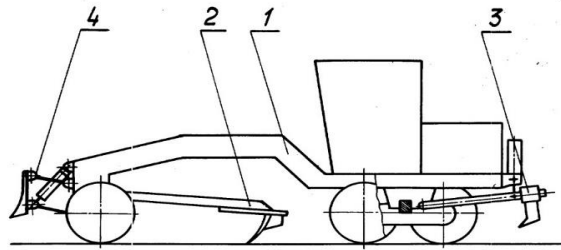


Рис. 4 – Автогрейдер обладнаний рухливою противагою:

1 – самохідне шасі; 2 – грейдерний відвал; 3 – додаткове робоче обладнання у вигляді розпушувача, шарнірно з'єднаного з шасі; 4 – бульдозерний відвал

Аналогічно вирішуються проблема і для колісного трактора (рисунок 5). Ідея зміни положення центра ваги машини вирішується використанням двох рухливих вантажів, встановлених у передній і задній частинах трактора. Таке технічне рішення є більш ефективним, оскільки вантажі можуть рухатись незалежно один від одного, що дозволяє розширити ділянку регулювання положення центра ваги машини.

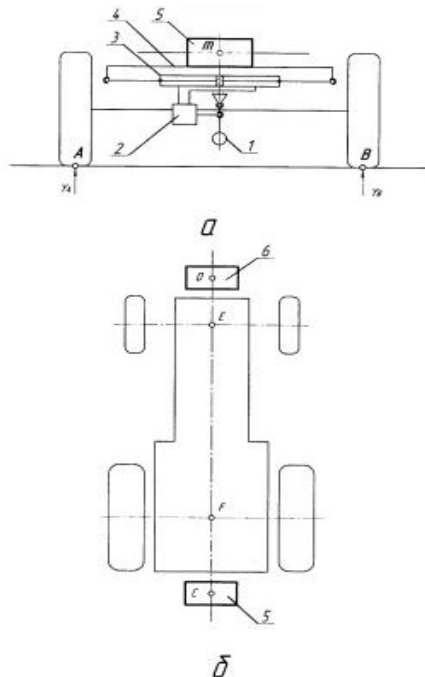


Рис. 5 – Колісний трактор, обладнаний механізмом з рухомим типом вантажів:

а – задній міст транспортного засобу (вид ззаду), обладнаного додатковими вантажами;
б – транспортний засіб, обладнаний додатковими вантажами; 1 – маятниковий датчик; 2 – гідророзподільник; 3 – гідроциліндр; 4 – важіль; 5, 6 – вантаж

Додаткові рухомі вантажі дозволяють змінювати положення центра ваги, що за особливих умов роботи захистить машину не тільки від перекидання, але і від відхилення від запланованої траєкторії руху.

Порівнюючи розглянуті вище конструктивні методи забезпечення курсової стійкості, можна зробити такі зауваження:

– автоматизоване керування рухом ЗТМ (автогрейдера) та автоматизоване регулювання руху дозволяє спростити процес управління машиною та забезпечити необхідне значення показників курсової стійкості. Водночас використання означених методів потребує значних витрат;

– введення в конструкцію машини додаткових пристроїв, які забезпечують курсову стійкість, потребує менших витрат, але також і потребує виконання додаткових наукових досліджень для запобігання оптимального їх використання.

Класифікація методів та напрямів забезпечення курсової стійкості ЗТМ

На підставі проведених оглядових досліджень нами була запропонована класифікація методів та напрямів утримання ЗТМ на запланованій траєкторії руху під час виконання технологічних операцій (робочий режим руху) (рисунк 6). Класифікація враховує емпіричний пошук, виконаний згідно теорії розв’язання винахідницьких задач (ТРВЗ) [19, 20].

Наведена класифікація дозволяє інженерним працівникам зосередитись на розробці відповідних пристроїв згідно запропонованим методам та напрямам удосконалення ЗТМ.

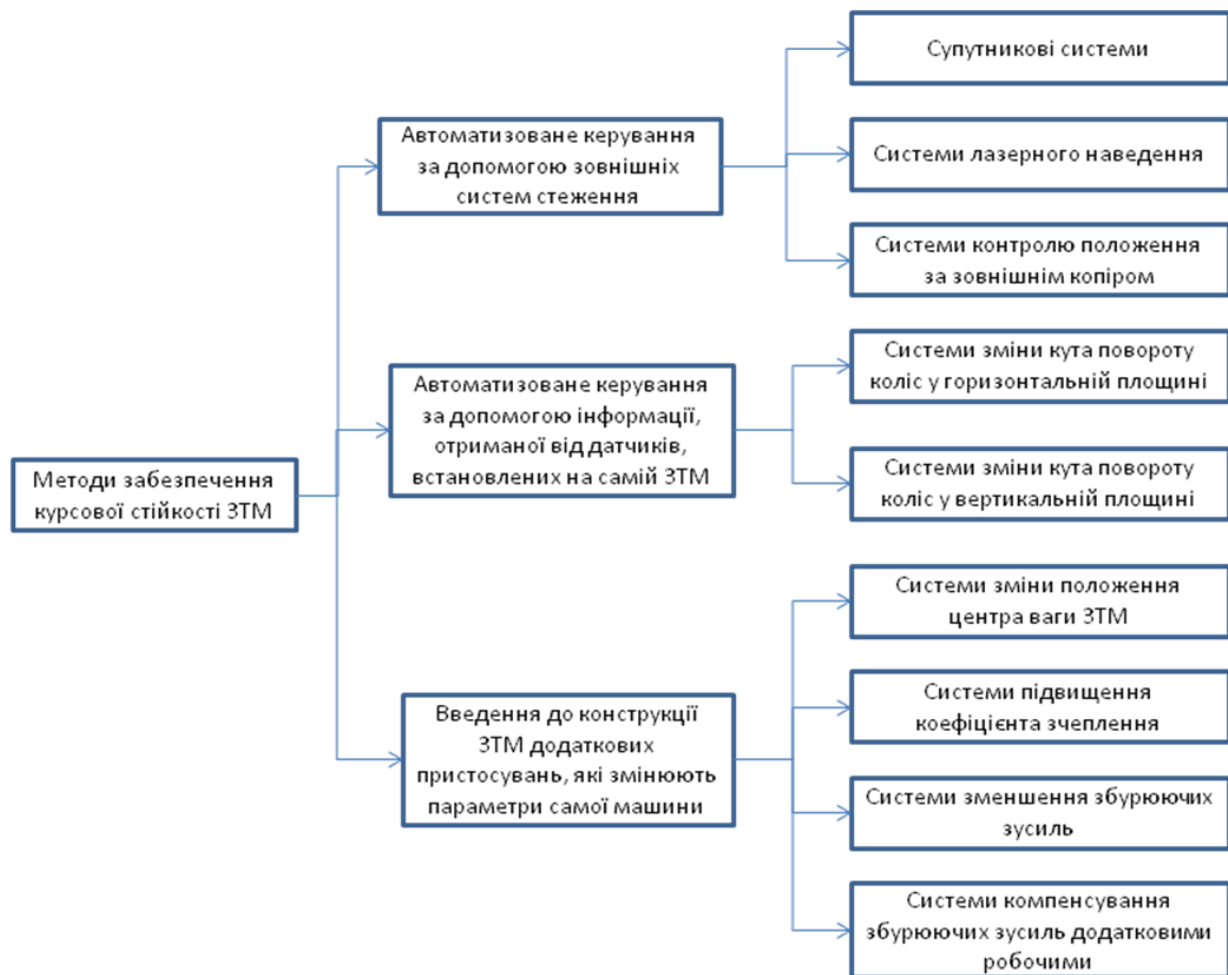


Рис. 6 – Класифікація методів та напрямів утримання ЗТМ на запланованій траєкторії руху під час виконання технологічних операцій

Особливості утримання автогрейдерів на запланованій траєкторії руху

Зазначені вище підходи не в повній мірі відповідають режимам навантаження ЗТМ, зокрема, автогрейдерів. До конструктивних особливостей, які визначають характер навантаження автогрейдерів слід віднести наступне:

- основний відвал розташований у міжколісному просторі, що сприяє покращенню планувальних можливостей машини;
- конструктивні особливості кріплення відвала до основної рами автогрейдера дозволяють оператору переміщати його в просторі і займати різноманітні положення, відповідні технологічній операції, яка виконується.

Останнє визначає особливості формування сил опору з боку розроблювального середовища:

- головний вектор опорів на відвалі може прикладатися асиметрично відносно поздовжньої осі машини, що викликає появу дестабілізуючих крутних моментів;
- під час виконання технологічних операцій встановлення відвала з кутом захоплення, відмінним від 90° , призводить до появи додаткової поперечної складової сил зовнішнього опору.

Конструктивні рішення, які забезпечують курсову стійкість автогрейдера

Для забезпечення стабілізації траєкторії руху, зокрема автогрейдерів, було запропоновано корисні моделі, які дозволяють автоматично керувати положенням керованих коліс [21, 22].

Запропонована гідравлічна система дозволяє відстежити різницю кількості обертів коліс лівого і правого бортів балансирного візка та відкорегувати кут нахилу (рисунок 7) або повороту коліс передньої осі (рисунок 8).

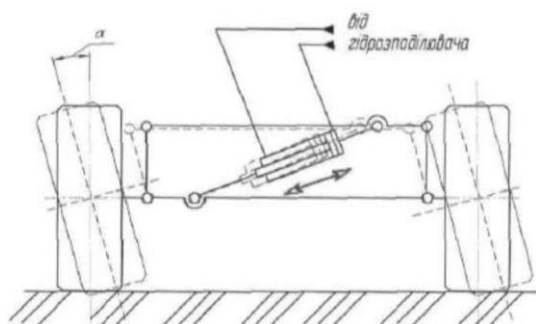


Рис. 7 – Система управління нахилом коліс передньої осі у вертикальній площині

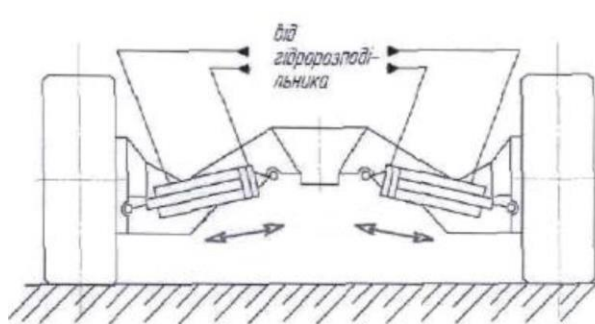


Рис. 8 – Система управління поворотом коліс передньої осі у горизонтальній площині

Нахил коліс у вертикальній площині сприяє зменшенню площини контакту колеса з ґрунтом, що збільшує тиск у зоні контакту колеса з ґрунтом. За рахунок деформації опорної поверхні при нахилі передніх коліс у бік додатково до сил тертя виникають зусилля різання ґрунту самим колесом, що сприяє збільшенню утримуючого моменту в горизонтальній площині. Крім того, під час нахилу коліс, за рахунок асиметричного зміщення центра обертання колеса відносно центра опорної поверхні, виникає додатковий утримуючий момент.

Нахил коліс переднього мосту у вертикальній, так само як і поворот у горизонтальній площині, повинен коригуватись у залежності від напрямку головного вектора сил опору на відвалі, а кут нахилу залежить від значення дестабілізуючого моменту, який виникає завдяки дії сил опору.

Стабілізувати траєкторію руху землерийно-транспортних машин можливо також за допомогою додаткового навісного обладнання [23]. На обертальному бульдозерному обладнанні з гідравлічним приводом оберту встановлено виконавчий пристрій, закомутований на датчик кута оберту, який встановлено на основному відвалі (рисунок 9). Завдяки бічним силам опору копанню, прикладеним до бульдозерного відвала, зменшується значення дестабілізуючого моменту, що дозволяє утримати машину на запланованій траєкторії.

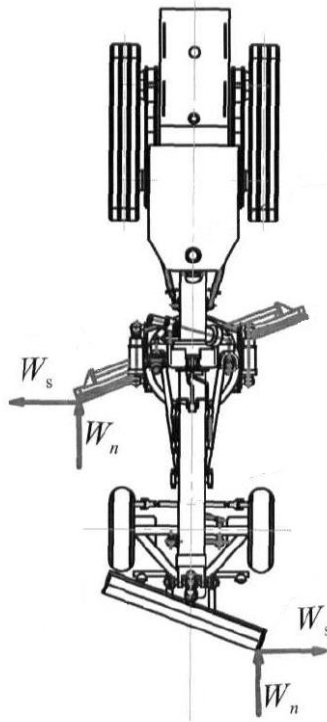


Рис. 9 – Система стабілізації траєкторії руху землерийно-транспортних машин за допомогою додаткового навісного обладнання

Також нами було розроблено і запатентовано систему стабілізації руху автогрейдера [24], яка дозволяє керувати положенням робочого обладнання в просторі за рахунок гідравлічних систем підйому-опускання відвала та виносу відвала в бік. (рисунок 10).

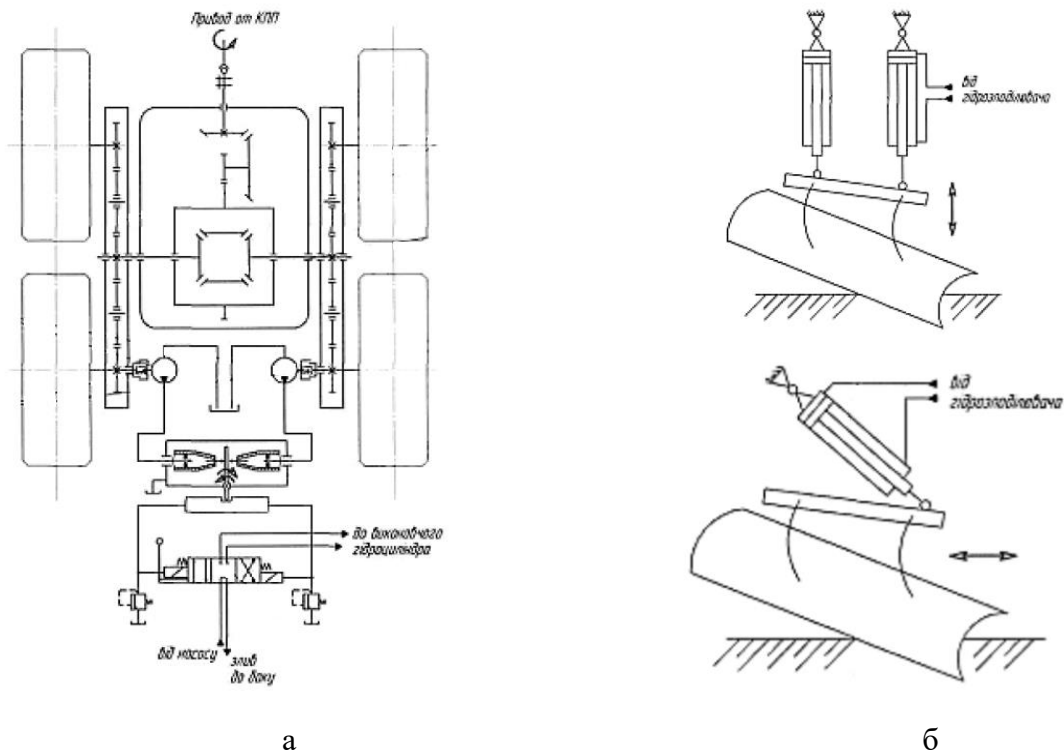


Рис. 10 – Система управління відвалом автогрейдера: а – гідравлічна схема; б – системи управління відвалом

Для стабілізації траєкторії руху автогрейдера також доцільно збільшувати значення бічних утримуючих зусиль на колесах за рахунок використання додаткових ґрунтозачепів [25]. Ґрунтозачепа мають Т-подібну форму та при зануренні в ґрунт збільшують коефіцієнт зчеплення, і як наслідок зменшують бічний зсув.

Висновки

1. Конструктивні методи, які дозволяють стабілізувати траєкторію руху машини, поділяють на три групи:

- системи автоматичного управління, які базуються на аналізі супутникової інформації або інформації про відхилення від попередньо встановлених копійних систем;
- бортові системи автоматичного регулювання, які впливають на системи управління на основі обробки інформації, що надходить від датчиків, встановлених на самій машині;
- додаткові механічні пристрої, які дозволяють впливати на параметри машини і довкілля, забезпечуючи дотримання вимог курсової стійкості в процесі виконання технологічних операцій.

Перша і друга групи розглянутих конструктивних методів достатньо дорогі і потребують використання на машині електрогідравлічних систем управління, що унеможливує їх використання на машинах ранніх версій. З нашої точки зору, найбільш раціональним є розробка й установка на ЗТМ, зокрема автогрейдерах, додаткових простих конструкцій механічних систем, які дозволяють утримувати машину на запланованій траєкторії руху. Для обґрунтування параметрів подібних систем потрібне проведення додаткових досліджень, пов'язаних з оцінкою курсової стійкості автогрейдера.

2. Для забезпечення стабілізації траєкторії руху ЗТМ, зокрема автогрейдерів, було запропоновано конструктивні рішення у вигляді корисних моделей в яких реалізовані гідравлічні системи керування положенням робочого обладнання та передніх коліс.

Список використаних джерел:

1. *Машини для земляних робіт* : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке [та ін.]. – Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. – 575 с.
2. Increase of Stability for Motor Cars in Service Braking [Electronic resource] / M. Podrigalo, A. Turenko, V. Bogomolov [et al.] – Access mode: <https://doi.org/10.4271/2018-01-1880> (Last accessed 10.12.2022).
3. Хмара Л. А. Сетецентричні технології в ефективному супроводі дорожньо-будівельної техніки / Л. А. Хмара, С. І. Кононов // *Вісник ХНАДУ*. – 2012. – Вип. 57. – С. 36–42.
4. Теоретичні дослідження динаміки малогабаритного пневмоколісного фронтального навантажувача при автоколиваннях / Л. В. Назаров, С. І. Овсянніков, Л. В. Рязарьонов [та ін.] // *Вісник ХНАДУ*. – 2007. – Вип. 38. – С. 13–17.
5. Коваль А. Б. Визначення умов забезпечення курсової стійкості універсальних землерийних машин : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Коваль А. Б. ; Придніпровська державна академія будівництва. – Дніпропетровськ, 2014. – 21 с.
6. Обладнання для моніторингу транспорту. GPS трекер [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://profgps.ua/gps-treker/?gclid=EAIaIQobChMIp6mJoMCP7wIVi853Ch2e_QrhEAYASAAEgJjJPD_BwE (дата звернення 10.12.2022)
7. Galileo is the European global satellite-based navigation system [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system> (Last accessed 10.12.2022)
8. Galileo Satellite Navigation System. Space applications on earth STUDY Panel for the Future of Science and Technology EPRS [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614560/EPRS_STU\(2018\)614560_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614560/EPRS_STU(2018)614560_EN.pdf) (Last accessed 10.12.2022)
9. Trimble Grade Control for Motor Graders 3D Grade Control for Motor Graders [Electronic resource]. – Access mode: <http://https://heavyindustry.trimble.com/en/products/grade-control-motor-graders> (Last accessed 10.12.2022).
10. Leica iCON iGG2 2D Solution. Intelligent 2D grading solutions for motor graders [Electronic resource]. – Access mode: <https://leica-geosystems.com/en-us/products/machine-control-systems/grader/leica-icon-igg2-2d-grader-solution> (Last accessed 10.12.2022)
11. Rough and Fine Grading 3D-MC2 Grader [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.topconpositioning.com/grading/3d-motor-grader-systems/3d-mc2-grader> (Last accessed 10.12.2022).

12. SteadySteer.Pass-to-pass accuracy - right from your steering wheel [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.agleader.com/guidance-and-steering/steadysteer/> (Last accessed 10.12.2022).
13. Unidrive M. Офіційна сторінка компанії «Приводні Системи» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.privodsys.ru/katalog/unidrive-m/> (дата звернення 10.12.2022).
14. Пат. 1614941 СССР, МПК В60К17/30. Управляемый мост автогрейдера [Электронный ресурс] / Воронин А. Н. [и др.]. – № 4630828/25-1; заявл. 03.01.1989; опубл. 23.12.1990, Бюл. № 47. – 3 с. – Режим доступа: <https://patents.su/3-1614941-upravlyaemyjj-most-avtogrejdera.html> (дата обращения 11.11.2020 р.)
15. Пат. 84309U1 РФ, МКИ В60В 15/18. Устройство противоскольжения для колеса транспортного средства / Махмутов М. М. [и др.]. – № 95103566 ; заяв. 13.03.95 ; опубл. 20.12.96, Бюл. № 35. – 5 с.
16. Пат. 116183 Україна, МПК В60В15/08, В60В15/26. Система стабілізації траєкторії руху землерийно-транспортних машин / Шевченко В. О., Чаплигіна О. М., Буханцова Г. Д. – № 201612014 ; заяв. 28.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. – 4 с.
17. Пат. 1059082 СССР, МПК E02F5/08, E02F3/26. Механизм направления движения рабочего органа землеройной машины / Егоров Ю. П. [и др.]. – № 3363510/29-03 ; заявл. 08.12.1981 ; публ. 07. 12.1983, Бюл. № 45. – 2 с.
18. Пат. 2399538 РФ, МПК В62D37/04. Способ стабилизации положения колесного транспортного средства / Тарасова С. А. [и др.]. – № 2008146172/11 ; заявл. 21.11.2008 ; публ. 27.05.2010, Бюл. № 26. – 2 с.
19. Основи творення машин / М. Я. Бучинський, О. В. Горик, А. М. Чернявський, С. В. Яхін ; за ред. О. В. Горика. – Харків : НТМТ, 2017. – 448 с.
20. Krick E. V. An Introduction To Engineering: Methods, Concerns and Issues / E. V. Krick. – New York : John Wiley & Sons, 1976. – 358 p.
21. Пат. 114044 Україна, МПК F16Н39/00, F16Н43/00. Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера за допомогою коригування нахилу коліс / Шевченко В. О., Чаплигіна О. М. – № 201609081 ; заяв. 29.08.2016 ; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4. – 4 с.
22. Пат. 120651 Україна, МПК F16Н39/00, F16 Н43/00. Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера за допомогою коригування кута повороту коліс / Шевченко В. О., Чаплигіна О. М., Щербак О. В., Максимів Ю. М. – № 2017 05441 ; заяв. 02.06.2017 ; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. – 4 с.
23. Пат. 141678 Україна, МПК E02F 3/76 (2006.01). Система стабілізації траєкторії руху землерийно-транспортних машин за допомогою додаткового навісного обладнання / Шевченко В. О., Чаплигіна О. М., Резніков О. О. – № u 2019 09204 ; заяв. 08.08.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. – 4 с.
24. Пат. 114013 Україна, МПК F16Н39/00, F16Н43/00. Система стабілізації траєкторії руху автогрейдера / Шевченко В. О., Чаплигіна О. М. – № 2016 08781 ; заяв. 29.08.2016 ; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4. – 4 с.
25. Пат. 116183 Україна, МПК В60В15/08, В60В15/26. Система стабілізації траєкторії руху землерийно-транспортних машин / Шевченко В. О., Чаплигіна О. М., Буханцова Г. Д. – № 201612014 ; заяв. 28.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. – 4 с.

References

1. Khmara, LO et al. 2010, *Mashyny dlya zemlyanykh robot*, Rivne, Dnipropetrovsk, Kharkiv.
2. Podrigalo, M et al. 2018, *Zbilshennya stabilnosti dlya motornykh avtomobiliv u sluzhbi bronyuvannya*, viewed 10 December 2022, <<https://doi.org/10.4271/2018-01-1880>>.
3. Khmara, LA & Kononov, SI 2012, 'Setetsentrychni tekhnolohiyi v efektyvnomu suprovodi dorozhno-budivelnoyi tekhniki', *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, iss. 57, pp. 36-42.
4. Nazarov, LV et al. 2007, 'Teoretychni doslidzhennya dynamiky malohabarytnoho pnevmokolisnoho frontalnoho navantazhuvacha pry avtokolivanni', *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, iss. 38, pp. 13-17.
5. Koval, OB 2014, 'Vyznachennya umov zabezpechennya kursovoyi stiykosti universalnykh zemlerynykh mashyn', Doc.tehn.n. abstract, Prydniprovskya derzhavna akademiia budivnytstva, Dnipropetrovsk.
6. Obladnannya dlya monitorynhu transportu. GPS treker n.d., viewed 10 December 2022, <https://profgps.ua/gps-treker/?gclid=EAIaIqobChMIp6mJoMCP7wIVi853Ch2e_QrhEAAAYASAAEgJjJPD_BwE>
7. Galileo ye Yevropeyskym hlobalnym satellite-based navigation system n.d., viewed 10 December 2022, <<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>>.
8. Galileo Satellite Navigation System. Space applications on earth STUDY Panel for Future of Science and Technology EPRS 2018, viewed 10 December 2022, <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614560/EPRS_STU\(2018\)614560_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614560/EPRS_STU(2018)614560_EN.pdf)>.
9. Trimble Grade Control dlya Motor Graders 3D Grade Control dlya Motor Graders n.d., viewed 10 December 2022, <<http://heavyindustry.trimble.com/en/products/grade-control-motor-graders>>.
10. Leica iCON iGG2 2D Solution. Intelligent 2D grading solutions for motor graders n.d., viewed 10 December 2022, <<https://leica-geosystems.com/en-us/products/machine-control-systems/grader/leica-icon-igg2-2d-grader-solution>>.
11. Rough and Fine Grading 3D-MC2 Grader n.d., viewed 10 December 2022, <<https://www.topconpositioning.com/grading/3d-motor-grader-systems/3d-mc2-grader>> .

12. SteadySteer.Pass-to-pass accuracy - right from your steering wheel n.d., viewed 10 December 2022, <<https://www.agleader.com/guidance-and-steering/steadysteer/>>.
13. Unidrive M. Ofitsiyina storinka kompaniyi Pryvodni Systemy n.d., viewed 10 December 2022, <<http://www.privodsys.ru/katalog/unidrive-m/>>.
14. Voronin, AN et al. 1990, *Upravlyayemyy most avtogreydera*, SSSR Patent 1614941, viewed 11 November 2022, <<https://patents.su/3-1614941-upravlyaemyjj-most-avtogrejdera.html>>.
15. Makhmutov, MM et al. 1996, *Ustroystvo protivoskolzheniya dlya transportnykh sredstv*, RF Patent 84309U1.
16. Shevchenko, VO, Chaplygina, OM & Bukhantsova, GD 2017, *Systema stabilizatsiyi trayektoriyi rukhu zemleroyuno-transportnykh mashyn*, UA Patent 116183.
17. Yegorov, YuP et al. 1981, *Mekhanizm napravlenniya dvizheniya rabocheho organa zemleroynoy mashiny*, SSSR Patent 1059082.
18. Tarasova, SA et al. 2010, *Sposob stabilizatsii polozheniya kolesnogo transportnogo sredstva*, RF Patent 2399538.
19. Buchynskyy, MYa, Horyk, OV, Chernyavskyy, OM & Yakhin, SV 2017, *Osnovy tvorenniya mashyn*, NTMT Kharkiv.
20. Krick, EV 1976, *An Introduction To Engineering: Methods, Concerns and Issues*, John Wiley & Sons, New York.
21. Shevchenko, VO & Chaplyhina, OM 2017, *Systema stabilizatsiyi trayektoriyi rukhu avtohtreydera za dopomohoyu koryhuvannya nakhyly kolis*, UA Patent 114044.
22. Shevchenko, VO, Chaplyhina, OM, Shcherbak, OV & Maksymiv, YuM 2017, *Systema stabilizatsiyi trayektoriyi rukhu avtohtreydera za dopomohoyu koryhuvannya uhla povorotu kolis*, UA Patent 120651.
23. Shevchenko, VO, Chaplyhina, OM & Ryznikov, OO 2019, *Systema stabilizatsiyi trayektoriyi rukhu zemleroyuno-transportnykh mashyn za dopomohoyu dodatkovoho navisnoho obladnannya*, UA Patent 141678.
24. Shevchenko, VO & Chaplyhina, OM 2017, *Systema stabilizatsiyi trayektoriyi rukhu avtohtreydera*, UA Patent 114013.
25. Shevchenko, VO, Chaplyhina, OM & Bukhantsova, HD 2017, *Systema stabilizatsiyi trayektoriyi rukhu zemleroyuno-transportnykh mashyn*, UA Patent 116183.

Стаття надійшла до редакції 10 січня 2023 р.