

УДК 621.869

Кириченко І. Г., д.т.н., Ковалевський С. Г., к.т.н., Безсонов М. М., асп.,
Костенко Д. К., магістр

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ САМОХІДНОГО СКРЕПЕРА ПРИ РОБОТІ НА СХИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ

Анотація. В статті наведено результати досліджень показників стійкості самохідного скрепера на схилі за допомогою розробленої комп'ютерної моделі. В якості основних чинників, що впливають на граничний кут схилу, при якому скрепер втрачає стійкість, були прийняті ступінь заповнення ковша ґрунтом та напрям руху по схилу. Встановлено, що граничний кут схилу, при якому скрепер втрачає стійкість, спочатку зростає при збільшенні ваги ґрунту в ковші, а потім зменшується при максимальному заповненні ковша.

Ключові слова: скрепер, комп'ютерна модель, схил, стійкість, граничний кут, ґрунт, ковш, напрям руху.

Аннотація. В статье приведены результаты исследований показателей устойчивости самоходного скрепера на уклоне при помощи разработанной компьютерной модели. В качестве основных факторов, которые влияют на предельный угол уклона, при котором скрепер теряет устойчивость, были приняты степень заполнения ковша ґрунтом и направление движения по уклону. Установлено, что предельный угол уклона, при котором скрепер теряет устойчивость, сначала растет при увеличении веса ґрунта в ковше, а затем уменьшается при максимальном заполнении ковша.

Ключевые слова: скрепер, компьютерная модель, уклон, устойчивость, предельный угол, ґрунт, ковш, направление движения.

Zusammenfassung. Im Artikel werden die Ergebnisse der Forschungen der Indikatoren der Stabilität des selbstfahrenden Schabers auf der Piste mit Hilfe des entwickelten Computermodells gegeben. Als Hauptfaktoren, die den Neigungswinkel beeinflussen, bei dem der Abstreifer die Stabilität verliert, wurden der Füllgrad der Pfanne mit Erde und die Bewegungsrichtung entlang der Neigung angenommen. Es wurde festgestellt, dass der Neigungswinkel, bei dem der Abstreifer die Stabilität verliert, zuerst mit zunehmendem Gewicht des Bodens in der Pfanne zunimmt und dann mit der maximalen Füllung des Eimers abnimmt.

Stichworte: Schaber, Computermodell, Bias, Stabilität, Grenzwinkel, Boden, Eimer, Fahrtrichtung.

Вступ. Огляд напрямів підвищення ефективності роботи самохідного скрепера показав, що існуючі засоби дозволяють забезпечити заповнення ковша ґрунтом «з шапкою», результатом чого є зниження стійкості машини в транспортному режимі, особливо при роботі на схилах. Проведення досліджень за допомогою розроблених комп'ютерних моделей дозволяє зменшити витрати та час експериментів, забезпечити безпеку персоналу під час проведення випробувань.

Таким чином, дослідження показників стійкості самохідного скрепера при роботі на схилі та встановлення граничних значень основних чинників, дозволить підвищити ефективність роботи скрепера.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо багато досліджень стійкості автомобілів та тракторів [1,2,9,10], сільськогосподарських машин [3,11] результати яких не можуть бути використані для оцінки поведінки скреперів на схилі.

Роботи з підвищення стійкості скреперів присвячені дослідженню тягово-зчіпних, маневрених якостей, керованості машини при взаємодії коліс самохідного скрепера з опорною поверхнею при повороті [4,5].

Дослідження системи повороту будівельних машин та розробка концепції взаємодії елементів системи машина – місцевість, з формулюванням ряду вимог до машини для виконання її призначення з мінімальними економічними витратами, вибір оптимального співвідношення між основними параметрами машини виконано в роботі [6]

Розробка комплексу показників ефективності для вибору раціональної конструктивної схеми і складання методики визначення параметрів поворотного механізму одноосьових тягачів самохідних скреперів, з урахуванням екологічних і економічних факторів впливу обраного конструктивного рішення поворотного механізму на маневрені якості самохідної машини розглянуто в роботі [7].

Світовий досвід досліджень транспортних систем свідчить про тенденції збільшення долі віртуальних експериментів при проектуванні та випробуваннях машин, що дозволяє знизити вартість та час створення нової техніки [8,12]

Підводячи підсумок аналізу виконаних досліджень необхідно відзначити, що в розглянутих роботах не досліджувалась робота самохідного скрепера при транспортуванні ґрунта на схилі з точки зору забезпечення стійкості машини.

Мета роботи. Метою досліджень роботи самохідного скрепера на схилі за допомогою розробленої комп'ютерної моделі було встановлення основних чинників, що впливають на показники стійкості.

Основна частина. Побудова комп'ютерної моделі самохідного скрепера проводилося в програмному комплексі Autodesk Inventor, який надає широкий спектр можливостей, має зрозумілий інтерфейс, простоту оперування командами і доступність використання в не комерційних цілях. Якщо для проведення такого роду досліджень використовувати справжні машини, то витрати на паливо, транспортування, усунення несправностей складуть значних величин.

Проведення досліджень на комп'ютерній моделі не виключає проведення натурального експерименту та порівняння результатів з комп'ютерним, що дає можливість отримати картину реальних подій, показує похибки та відхилення, які між ними встановлюються.

При створенні комп'ютерної моделі були визначені обґрунтовані обмеження та спрощення, наприклад, не були враховані взаємодії внутрішніх вузлів машини, кріплення її елементів між собою, скрепер розглядався як жорстка конструкція тягача та скрепера, шарнірно з'єднані між собою тяговою рамою.

Редагування маси елементів, які були використані у збірці, проводилося безпосередньо в середовищі динамічного проектування, при зміні параметра маси програма автоматично визначала центр інерції.

При моделюванні тягача скрепера, задавалась його форма, маса та положення в просторі відносно його колісної вісі та тягової рами. а також були враховані взаємозв'язки елементів збірки (рис. 1а).

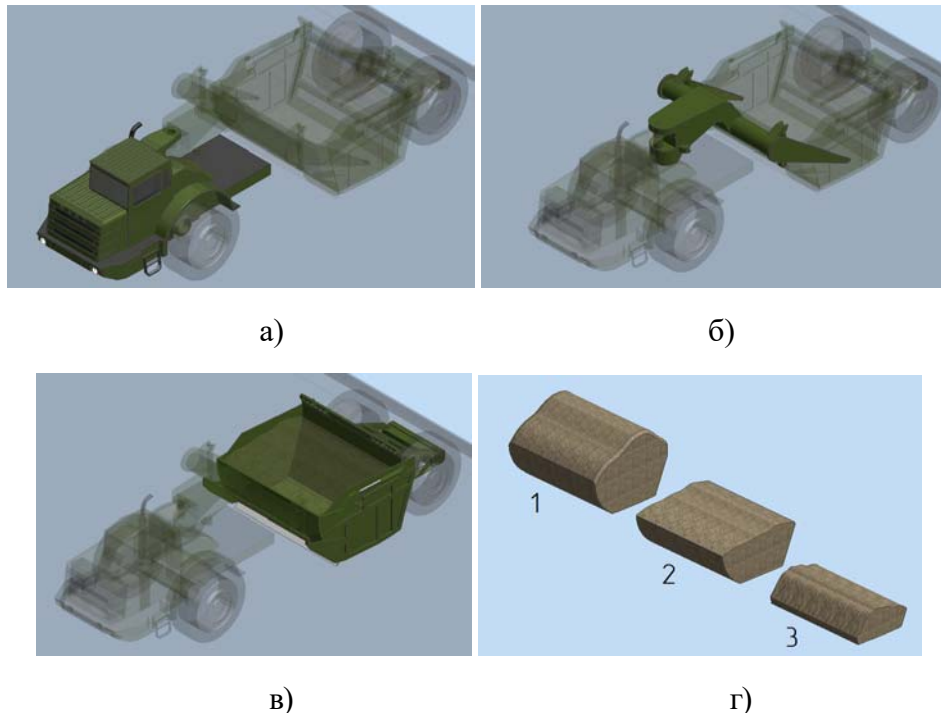


Рисунок 1 – Моделювання основних вузлів самохідного скрепера

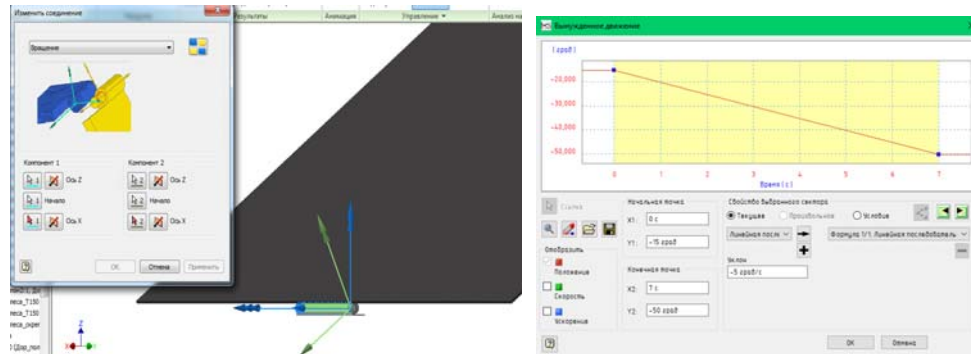
Моделювання тягової рами, яка є перехідною ланкою між тягачем та скрепером, проводилося при допущенні, що в транспортному режимі рама є нерухомою відносно ковша скрепера. З'єднання рами з тягачем задавалося у вигляді шарніра, завдяки чому була можливість встановлювати різні варіанти повороту тягача, виходячи з розрахункового критичного кута складування и в подальшому фіксувати це значення кута (рис.1б).

При моделюванні ківша з колісною віссю, між ними задавалося з'єднання шарнірного характеру але на відміну від шарнірного з'єднання тягача з рамою всі ступені свободі не були зафіксовані, а залишалось вільним обертання по своїй осі (рис.1в).

Для моделювання наповнення ковша були створені додаткові елементи, які імітували об'єм та вагу ґрунта (рис.1 г). Перший елемент імітував завантаження ковша з «шапкою», другий дорівнював повному завантаженню, без надлишку, третій відповідав заповненню ковша на половину.

Випробування на стійкість проводилися на віртуальному стенді, який мав можливість зміни куту опорної поверхні з розташованим скрепером. Стенд складається з двох частин: нижня нерухома та верхня рухома. Остання має одну ступінь свободи. Обертання здійснюється завдяки шарнірному з'єднанню (рис. 2а).

Примусовий рух верхньої поверхні, задавався залежністю кута нахилу від часу, з урахуванням початкової та фінальної крапки лінії графіка. Таким чином імітувалося поведіння скрепера при знаходженні на різних схилах (рис. 2б).



а) б)
Рисунок 2 - Віртуальний стенд для випробування на стійкість

Після створення стенду у відкриту збірку було додано комп'ютерну модель самохідного скрепера, встановлено взаємозв'язок між колесами скрепера і опорною поверхнею за допомогою 3D контакту, задано необхідні параметри в 3D контакті для приближення

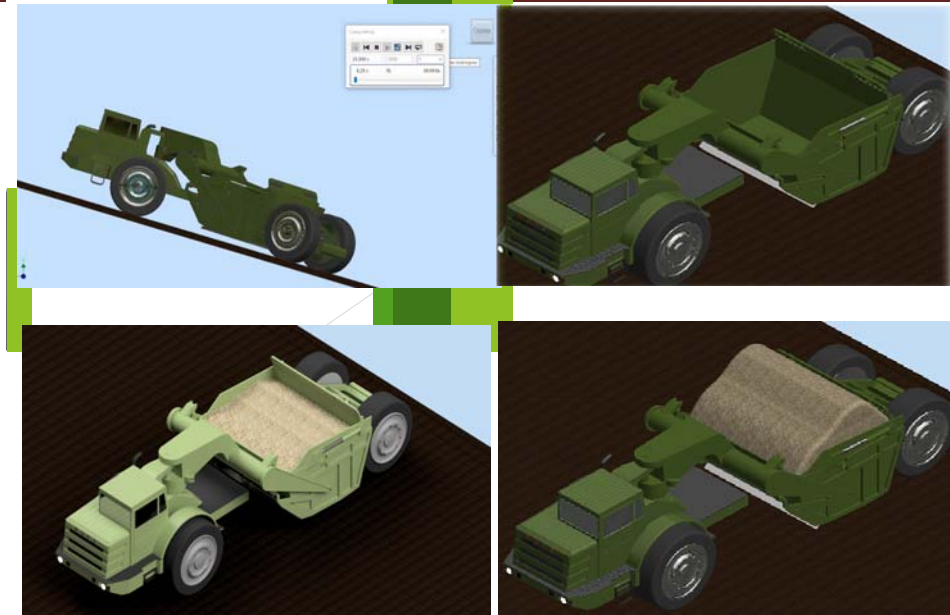


Рисунок 3 – Розташування скрепера на стенді

до реальних умов роботи, які включають до себе показники жорсткості, демпфування та тертя (рис. 3).

Проведені дослідження на комп'ютерній моделі дозволили визначити граничні кути нахилу рухомої частини стенду, при яких скрепер втрачав стійкість за рахунок перекидання, в залежності від виду та ваги ґрунту в ковші, а також напрямку перекидання: вперед і назад (рис.4). Ківш скрепера під час проведення експериментів був заповнений видами ґрунту, які мали різну питому вагу, що, в свою чергу, приводило до зміни положення центру ваги машини в цілому. У якості ґрунтів використовувалися наступні: глина з питомою вагою у розпушеному вигляді – $1,9 \text{ т/м}^3$, суглинок – $1,7 \text{ т/м}^3$, супесь – $1,5 \text{ т/м}^3$.

Слід зауважити, що перекидання вперед виникало при русі машини вниз по схилу, а перекидання назад, у випадку коли скрепер рухався на підйом. В обох випадках скрепер виконував поворот з критичним кутом складування між тягачем та ковшем, що визначає найгірші умови праці.

Наявність шарніра між тягачем та скрепером допускає відрив від опорної поверхні якого-небудь колеса однієї з частин машини до моменту торкання з опорною поверхнею виступаючих частин секцій.

При цьому тягач, повертаючи щодо скреперного ковша, може перекидатися вперед, з відривом від опори зовнішнього по повороту колеса, або назад, з відривом від опори внутрішнього по повороту колеса напівпричіпної секції. Саме відрив будь якого колеса від поверхні стенда приймався за втрату стійкості машини в цілому.

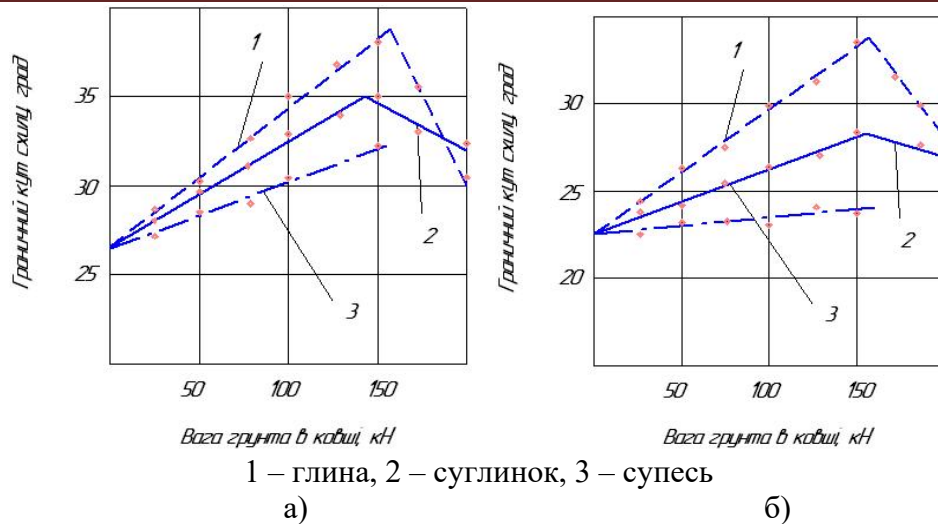


Рисунок 4 – Залежність граничного кута схилу від ваги ґрунту в ковші при перекиданні вперед а), та назад б)

Висновки. Огляд напрямів підвищення ефективності роботи самохідного скрепера показав, що існуючі засоби дозволяють забезпечити заповнення ковша ґрунтом «з шапкою», результатом чого є зниження стійкості машини в транспортному режимі, особливо при роботі на схилах.

Проведення експериментів за допомогою розробленої комп’ютерної моделі самохідного скрепера дозволило визначити граничні кути схилу, при яких скрепер втрачає стійкість, в залежності від ступіня заповнення ковша ґрунтом, напрям руху по схилу та типу ґрунту при невеликих витратах, в порівнянні з натурними випробуваннями.

Результати досліджень показали, що максимальна величина кута схилу за умови не врати стійкості при русі скрепера вниз по схилу дорівнює 39 град, в тому випадку, якщо ківш повністю заповнен глиною. При збільшені або зменшені ступіню заповнення ковша граничний кут зменшується та досягає мінімальних значень – 33 град для суглінка і супесі.

Аналогічна картина спостерігається за умови руху скреперу вгору по схилу та можливості перекидання назад, але значення граничних кутів зменшується відповідно до 34 та 23 град, що обумовлено збільшенням можливого максимального значення критичного кута складування між тягачем і ковшем скрепера.

Отримані дані, які, безумовно, повинні бути підтвержені математичним та фізичним моделюванням, а також, певною мірою, - натурними експериментами, є підставою для визначення раціональних режимів роботи самохідного скрепера при виконанні транспортуваних операцій в умовах пересіченної місцевості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Забельшинский З.Э. Оценка устойчивости шарнирно-сочлененного колесного трактора и тракторного поезда в различных дорожных условиях / З.Э. Забельшинский, М.А. Подригало, Е.А. Дубинин // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып.: Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков: НТУ "ХПИ" – 2015. – № 8 (1117). – С. 3-10.
2. Подригало М.А. Оценка устойчивости и управляемости автомобиля по собственной частоте его колебаний в плоскости дороги // М.А. Подригало, Д.М. Клец, В.И. Гацько // Автомобильная промышленность, 2014. – № 5 – С. 29 – 33.
3. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навчальний посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк // К.: НМК ВО, 1992. – 320 с
4. Хмара Л.А. Машины для земляных работ / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Нічке // Рівне-Дніпропетровськ-Харків, 2010. – 557 с.
5. Кириченко И.Г. Модульная концепция проектирования технологических машин для строительного производства: монография / И.Г. Кириченко // Х.: ХНАДУ, 2002. – 120 с.
6. Баловнев В.И. Подобие и моделирование в системе проектирования дорожно-строительных машин: учеб. пособие / В.И. Баловнев // М.: МАДИ, 2014. – 148 с.
7. Павлов В.П. Дорожно-строительные машины / В.П. Павлов, Г.Н. Карасев // Сиб. федер. ун-т, 2011.– 172 с.
8. Колесникович А.Н. Виртуальные испытания транспортных средств на статическую устойчивость / А.Н. Колесникович, В.Б. Альгин, С.В. Харитончик // Сб. науч. трудов НИРУП «Белавтотракторостроение» -Минск. - 2004. – С.229-233.
9. Boyuan, L. Two-layer structure based adaptive estimation for vehicle mass and road slope under longitudinal motion / L. Boyuan, Jiawei Z, Haiping D, // Measurement. 2017. – Vol. 95. – p. 439 – 455.
10. Yang, X. Fuzzy Logic Based Control of the Lateral Stability of Tractor Semitrailer Vehicle / X.Yang, J. Song, J Gao, // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. - 692912.
11. Dieumet D. Online adaptive observer for rollover avoidance of reconfigurable agricultural vehicles / D. Dieumet, T. Benoit; L. Roland, // Computers and electronics in agriculture. - 2016. – Vol. 126. – p. 32 – 34.
12. Zhen L. Modeling agricultural tractor motion on sloping ground considering longitudinal and lateral gradients / L. Zhen, M. Muneshi, I. Eiji // Journal of the faculty of agriculture kyushu. – 2016. - Vol. 61. – p. 147 – 152.