

УДК 630*377.4:531.6

Принцип суперпозиції сил в задачах нестационарної взаємодії лісової машини з опорною поверхнею та стовбурами дерев

Мачуга¹ О.С.; Луста¹ Ю.Р.¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

Анотація. Розглядаються ризики втрати поперечної стійкості під час технологічних операцій лісозаготівлі, виконуваних харвестерами та форвадерами. Ризик на територіях з ухилом підвищується асиметричним положенням робочого органу – стріли-маніпулятора з головкою із стовбуром дерева, а також нестационарними навантаженнями, пов'язаними із взаємодією машини із перешкодами та зміщеннями робочого органу.

Метою даного дослідження є будівництво підходу до розв'язування задач за використання принципу суперпозиції сил. Зовнішні навантаження розділено на три групи: рівновага в складеному положенні; асиметричне навантаження від дії моментів сил від розкладеного робочого органу; нестационарне імпульсне навантаження. Ризики втрати поперечної стійкості належним чином систематизовано. Рівняння рівноваги плоскої системи сил доповнене геометричною в'яззю, що пов'язує між собою окремі реакції ґрунту. Запропонований підхід проілюстровано для конкретної моделі харвестера.

Ключові слова: поперечна стійкість; асиметричне навантаження; рівняння рівноваги; робочий орган; плоска система сил

Виконання технологічних операцій сучасними лісозаготівельними машинами – харвестерами та форвадерами [1] – характеризуються низкою експлуатаційних ризиків. В даній роботі розглядається ризик втрати поперечної стійкості, що є розвитком дослідження [2].

Праця в лісі супроводжується небезпекою травмування [3] – 8,1% робітників упродовж року отримують серйозні травмування, 30,2% травмувань припадає на заготовлю деревини. Велика частина травм пов'язана з експлуатацією обладнання: серед причин – втрата стійкості та перекидання лісозаготівельної техніки. Одним із методів запобігання небезпечних випадків є [4] – визначення ризиків перевертання спеціалізованих транспортних засобів, які залежать від багатьох чинників: кута ухилу місцевості, кута повороту робочого органу, відстані від вантажу до транспортного засобу, ваги вантажу, швидкості повороту маніпулятора, тримної здатності ґрунту. Тому для визначення безпечних умов експлуатації важливо визначити вплив кожного з цих факторів. Метод суперпозиції сил дозволяє розділити зовнішній, відносно машини, вплив на групи чинників, за критеріями: транспортне положення робочого органу; вплив додаткових крутних моментів від асиметричного розташування робочого органу із затиснутим стовбуром дерева; додаткові динамічні, нестационарні чи імпульсні навантаження.

Втрата поперечної стійкості може виникнути під час виконання технологічних операцій тому виділити в робочому процесі випадки, коли це найбільш ймовірно:

Для загального випадку зовнішні сили можна подати за допомогою суми сил від кожного виду окремо:

$$\sum F = \sum F_i^G + \sum F_i^A + \sum F_i^N, \quad (1)$$

де $\sum F_i^G$ – сума сил від ваги елементів машини (транспортне положення), $\sum F_i^A$ – сума сил від асиметричного навантаження, $\sum F_i^N$ – сума сил від нестационарної взаємодії.

Випадки втрати стійкості або перекидання на прикладі харвестера

1	2	3
Випадок втрати стійкості	Чинники, що збільшують ймовірність перекидання	Чинники, що збільшують ймовірність сковзування
Натяг стріли маніпулятора	Зміщення центру ваги в сторону стовбура	Горизонтальна сила, що направлена до стовбуру
Момент відривання деревини від пня	Нестаціонарний (імпульсний) момент перекидання харвестера	Імпульсне навантаження в напрямку протилежному стовбурові
1	2	3
Перевертання стовбуру в горизонтальне положення	Динамічний момент в вертикальному напрямі	—
Розгін та гальмування стовбуру під час зрізування гілок	Динамічний момент в горизонтальному напрямі	Динамічний момент в горизонтальному напрямі
Рух з стовбуром/ Поворот стріли зі стовбуром	Зміщення центру ваги в сторону стовбура	Динамічний момент від повороту стріли
Поділ стовбуру на сортимент	Нестаціонарна сила від відриву сортименту від загальної довжини стовбуру	—
Рух ділянкою з різкими нерівностями	Нестаціонарна (імпульсна) сила від різкого перепаду висоти	Зменшення контактної поверхні в момент відриву одного або декількох коліс

Перекидання виникає тоді, коли одне з коліс втрачає контакт з опорною поверхнею, нормальна реакція є рівною нулю.

$$R_n = R_n^G + R_n^A + R_n^N = 0, \quad (2)$$

де R_n – сумарна реакція на найменш навантаженому колесі, R_n^G – реакція від ваги елементів машини в транспортному положенні, R_n^A – реакція від асиметричного навантаження, R_n^N – реакція від нестаціонарної взаємодії.

Для прикладу наведено харвестер зі стрілою-маніпулятором (Рис. 1), що виконує роботу на ухилі під кутом α та повернутий відносно висхідної лінії y_1Oy_2 на кут β .

У транспортному положенні розрахунок нормальних реакцій від ваги харвестера виконується за методикою запропоновану професором Б. Біликом [5] – реакції слід розділити на реакції коліс під двигуном R_d^G та реакції коліс візка R_v^G . Колеса окрім сили ваги усіх елементів машини додатково навантажені динамічним підйомним моментом M_d .

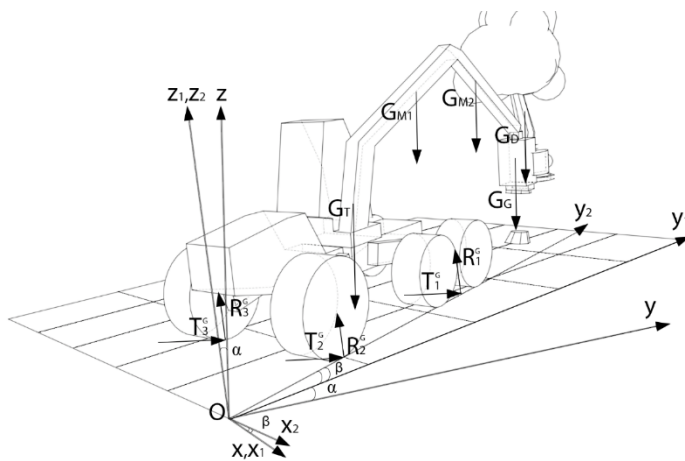


Рис.1. Модель тривісного харвестера, що виконує рубку лісу на опорній поверхні під ухилом (нормальні реакції від ваги)

Для знаходження реакцій використано [5] наступні вирази:

$$R_d^G = \frac{k_d}{1+k_p} G, R_v^G = \frac{k_p}{2} R_d^G, \quad (3)$$

де G – сума сил від спорядженої ваги харвестера.

Розрахунок нормальних реакцій від дії асиметричного навантаження (Рис. 2) виконується за допомогою наступної системи рівнянь:

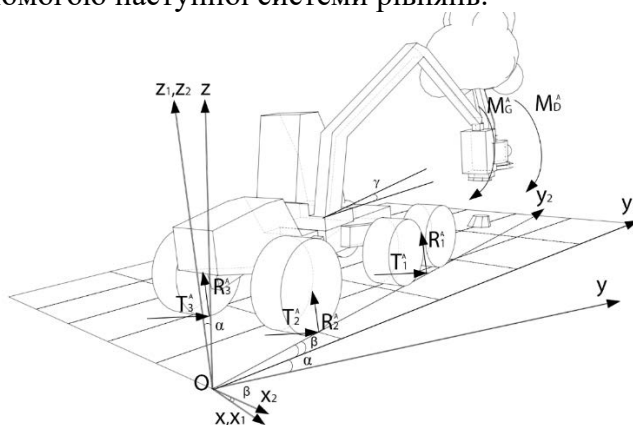


Рис.2. Модель тривісного харвестера, що виконує рубку лісу на опорній поверхні під ухилом (нормальні реакції від асиметричного навантаження)

$$\begin{cases} R_1^A + R_2^A + R_3^A + R_4^A = 0; \\ -(R_3^A + R_2^A) \cdot a - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} - L_{M2}) \cos \gamma \cdot \cos \alpha = 0; \\ (R_1^A + R_2^A - R_3^A - R_4^A) \cdot \frac{b}{2} - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} - L_{M2}) \sin \gamma \cdot \cos \alpha = 0; \\ R_1^A = R_4^A \cos \gamma + R_2^A \sin \gamma. \end{cases} \quad (4)$$

де γ – кут повороту стріли маніпулятора від напрямку руху, b – ширина машини, a – база машини, $L_{M1,2}$ – довжина першої та другої ланки маніпулятора, $G_{G,D}$ – сила від ваги головки маніпулятора та дерева відповідно. Система рівнянь (4) базується на трьох рівняннях рівноваги паралельної системи сил та додатково містить четверте рівняння, що є геометричною в'яззю, яка пов'язує відповідні реакції

Розрахунок нормальних реакцій від дії нестационарних навантажень (Рис. 3) виконується аналогічним чином для кожного випадку втрати стійкості, передбаченого в таблиці.

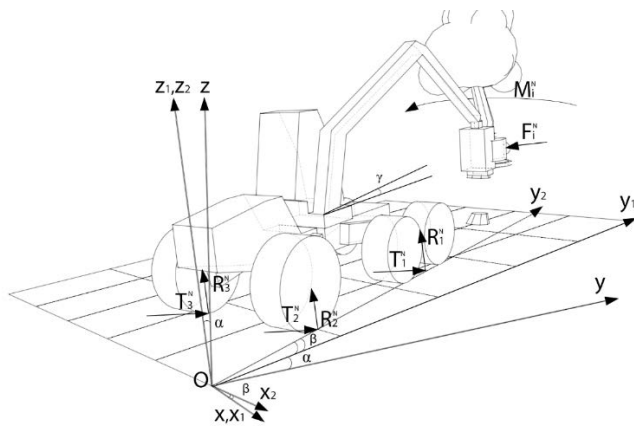


Рис.3. Модель тривісного харвестера, що виконує рубку лісу на опорній поверхні під ухилом (нормальні реакції від нестационарного навантаження)

Для тестового розрахунку було обрано харвестер Valmet 911.3, вага стовбуру – 15 кН. На основі технічних характеристик харвестера визначено реакції для кутів ухилу $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$, за діапазону повороту стріли $\gamma = 0^\circ \dots 90^\circ$ (див Рис.4).

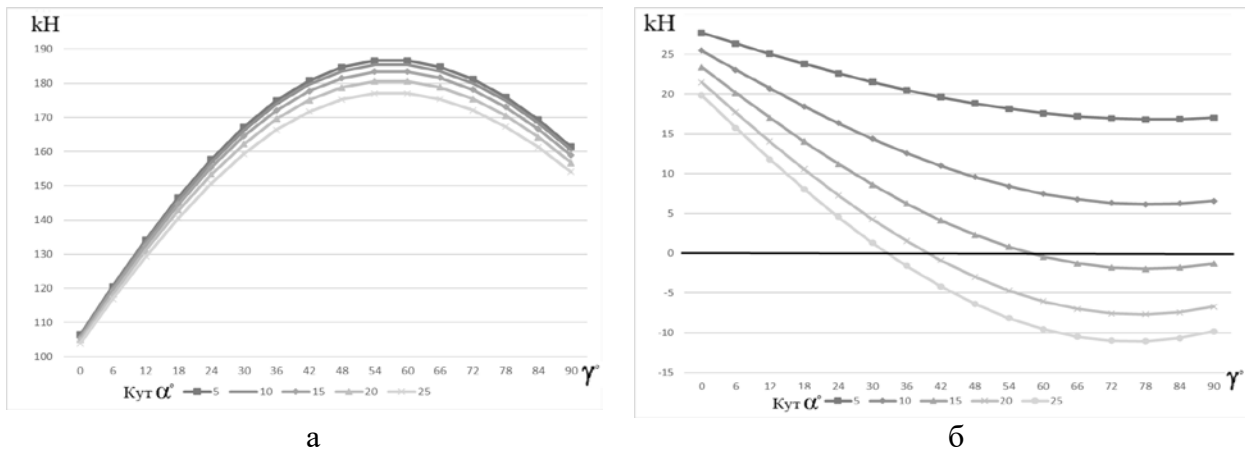


Рис.4. Залежність реакції R_1 під робочим органом (а) та R_3 протилежної до робочого органу (б) від положення маніпулятора для різних кутів ухилу опорної поверхні

Отримані графіки дають змогу оцінити стійкість харвестера на перекидання, яке виникає, коли нормальні реакції опорної поверхні менші за нуль. Важливими є дані щодо найбільш навантаженого колеса, які дають змогу уточнити типорозмір коліс для гірських умов. Кут ухилу місцевості має більший вплив на стійкість до перекидання аніж кут повороту стріли маніпулятора.

Список літератури

1. Библюк Н.І., Мачуга О.С. Лісозаготівельні комбайни: особливості конструкції, функційні схеми, перспективи. – Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – 2009. – 55. - С. 235 – 241.
2. Мачуга О.С., Борис М.М., Луста Ю.Р. Методи визначення допустимого ухилу місцевості для безпечної експлуатації спеціалізованої техніки під дією нестационарного навантаження. – *Mechanics and advanced technologies*. vol. 6, no. 2 – 2022. С. 130 – 138. doi: 10.20535/2521-1943.2022.6.2.257604
3. Ghaffariyan M. R. Analysis of forestry work accidents in five Australian forest companies for the period 2004 to 2014. – *Journal of forest science*. vol. 62, no. 12 – 2016. С. 545–552. doi: 10.17221/80/2016-JFS
4. Edwards D., Parn E. A., Sing M. C-P., Risk of excavator overturning. *Engineering. – Construction and Architectural Management*. vol. 26, no. 3, – 2019. С. 479-498. doi: 10.1108/ECAM-03-2018-0125
5. Білик Б. В. Теорія та проектування самохідних лісових машин. Львів: РВВ НЛТУУ, 2014. 297 с.

The principle of forces superposition in problems of non-stationary interaction of a forest machine with a support surface and tree trunks

Machuga O.S.; Lusta Yu.R.

Abstract. The risks of lateral stability loss during technological logging operations performed by harvesters and forwarders are considered. The risk in sloping areas is increased by the asymmetric position of the working body - the manipulator boom with a head with a tree trunk, as well as non-stationary loads associated with the interaction of the machine with obstacles and displacements of the working body.

The purpose of this study is to build an approach to solving problems using the principle of forces superposition. External loads are divided into three groups: balance in a folded position; asymmetric load from the moments of forces action from the deployed working body; non-stationary impulse load. Risks of loss of transverse stability are properly systematized. The equilibrium equation of a flat system of forces is supplemented with a geometric connection that connects individual soil reactions. The proposed approach is illustrated for a specific harvester model.

Keywords: transverse stability; asymmetric load; equilibrium equation; working body; flat system of forces