

ACCOUNT OF FORCES OF DRY FRICTION IN MODELING AND ANALYSIS OF FORCED VIBRATIONS OF VIBRATOR FOR SURFACE COMPACTION OF CONCRETE MIXES FOR SUBRESONANCE MODES

Yu. V. Chovnyuk, I. M. Sivak, V. T. Kravchuk

Abstract. *The correct approach is proposed to account for the dry friction forces in the simulation and analysis of forced vibrations of the vibrator for surface compaction of concrete mixes for subresonance modes. Usually, the dynamic nonlinearity is used to represent this nonlinearity, which appears only when driving.*

To vibrosystems dynamic nonlinearity are oscillatory system most cars vibracionnogo actions used in construction, whose strength inelastic soprotivlenie (deformation) speed change disproportionately in the first degree (including vibrators for surface compaction of concrete mixes). In the process, there are various vibrators in nature of inelastic resistance of the processed material (concrete mixture), ambient air, internal resistance caused by the flow of energy in bolted and riveted joints, hinges, rails, ground poles and incorporation of springs, etc.

All these resistance different changes depending on the displacement of the elements of the oscillating system vibrators. Each of them affect the shape and amplitude of oscillations, and power consumption.

Resultgroup all inelastic resistances VibroSystM can be reposed as multi-component resistance, consisting of the amount of concurrent single-label resistances.

Keywords: *dry friction, modeling, analysis, forced oscillations, concrete mixture, vibrator, surface compaction, subresonance modes*

УДК 631.354.2

АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ СТІЙКОСТІ ПРИ РОБОТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ НА СХИЛАХ

С. В. Смолінський, кандидат технічних наук
e-mail: s_smolinskyu@meta.ua

Анотація. *В статті наведено результати оцінки забезпечення стійкої роботи зернозбиральних комбайнів на схилах. Для аналізу стійкості роботи були охарактеризовані критерії*

© С. В. Смолінський, 2016

стійкості положення, стійкості напряду і швидкості руху машини, а також стійкості якості робочого процесу зернозбиральних комбайнів. Проведено аналіз застосування різних систем в конструктивних схемах зернозбиральних комбайнів, які забезпечують стійкість робочого процесу.

Оскільки при русі комбайна впоперек схилу зерновий ворох під власною вагою зміщується на решетах у бік нахилу, а це призводить до погіршення якості роботи. Для забезпечення стійкості якості роботи зернозбирального комбайна на схилах, машини обладнуються також системами вирівнювання робочих органів, застосування решіт жолобчастої форми для виключення зміщення вороху в бік нахилу або їх секційне виконання, підвищення рівномірності подачі маси на очищення, перерозподіл напряду і величини повітряного потоку відповідно розподілу вороху, рівномірний розподіл маси по поверхні робочих органів та інше.

Крім того, відомі і інші технічні рішення щодо виконання умови стійкості якості застосування універсальних комбайнів на схилах, які забезпечуватимуть роботу без перекидання шляхом встановлення подвосних коліс, монтування додаткових вантажів на колесах при максимальній ширині колії і мінімальному дорожньому просвіті, заливка в шини води та ін. Адаптація комбайнів до роботи на схилах здійснюється також застосуванням різноманітних автоматичних систем.

Ключові слова: *зернозбиральний комбайн, схил, стійкість, автоматичні системи, критерії, адаптація*

Постановка проблеми. Сучасне аграрне виробництво вимагає більш ефективного застосування всіх наявних земельних ресурсів. Одним із резервів в рослинництві є використання угідь на схилах. Хоча при цьому виникає ціла низка проблем, одною із яких є застосування сільськогосподарської техніки.

Не виключенням є також процес збирання зернових культур, оскільки згідно даних до 7% площ під зерновими культурами знаходяться на схилах.

Сучасна зернозбиральна техніка – потужна, але габаритна і масивна. При русі на схилах виникає ризик виникнення нестандартних ситуацій, насамперед, втрати стійкості внаслідок поперечного перекошу рами машин і діючих зусиль. Відомо також, що при роботі на схилах робочі органи комбайна не завжди якісно виконують процес. Тому і виникає необхідність обґрунтування техніко-технологічних принципів ефективного застосування зернозбиральних комбайнів при роботі на схилах. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є аналіз критеріїв стійкості.

Аналіз останніх досліджень. Питанню дослідження роботи мобільної сільськогосподарської техніки на схилах присвячені дослідження В. М. Пришляка, Д. Б. Райхмана, Н. М. Кириенко та інших. В роботах наведено загальні методологічні основи дослідження стійкості машин на схилах [1, 2], а також дослідження стійкості спеціальної техніки [3–6]. О. В. Козаченко [7] дослідив вплив систем керування на стійкість руху сільськогосподарського агрегату.

Враховуючи потребу у ефективному і безпечному застосуванні самохідних бункерних зернозбиральних комбайнів при роботі на схилах, необхідно проаналізувати стійкість робочого процесу збирального агрегату за цих умов.

Мета досліджень – на основі аналізу критеріїв стійкості обґрунтувати принципи ефективної роботи зернозбиральних комбайнів на схилах.

Результати досліджень. При виборі критеріїв стійкості використовувалася обробка даних оцінок 23 експертів-фахівців. В результаті проведеного дослідження встановлено, що для зернозбиральних комбайнів основними критеріями стійкості (із запропонованих експертам) можуть бути критерії стійкості положення, стійкості напряду і режимів (швидкості) руху машини, а також стійкість якості процесу.

На стадії проектування умова стійкості положення машин визначається теоремою Лагранжа-Дирихле, згідно якої стійка рівновага системи можлива при мінімальній величині потенціальної енергії системи. Проте, нерівності опорної поверхні і нахил схилів істотно впливають на поперечну стійкість системи. Динамічна поперечна стійкість системи при русі повинна виключати знесення у напрямку нахилу і перевертання машини. Основним показником динамічної стійкості може виступати коефіцієнт запасу поперечної стійкості як співвідношення сумарного моменту на відновлення стійкого положення до сумарного моменту перевертання. При роботі на схилі величина сумарного моменту перевертання дорівнюватиме моменту сили тяжіння відносно осі обертання (особливо динамічно це відбувається при змінній масі системи).

Динамічна стійкість ЗЗК можлива при величині коефіцієнту запасу поперечної стійкості [8]:

$$K = \frac{M_{\eta}}{M_{\varepsilon}} \geq 1,2.$$

Одним із технічних способів забезпечення поперечної стійкості комбайна при роботі вздовж і поперек схилів є обладнання машин системами автоматичного поперечного вирівнювання молотарки і машини в цілому в горизонтальне положення за допомогою гідропривода – AvtoLevel для Massey Ferguson, Montana для Claas

(рис. 1) і ін. [9] без зниження продуктивності і надійності функціонування системи.



Рис. 1. Система вирівнювання збиральних машин фірми Claas дозволяє за лічені секунди перевести машину з одного в інше крайнє положення.

При русі по нерівностях опорної поверхні при співпаданні власних частот коливань f_M і частот коливань нерівностей опорної поверхні f_{SF} (тобто, при $\frac{f_M}{f_{SF}} \approx 1$) настає резонанс (його позитивною стороною є підвищення якісних показників роботи і зниження енерговитрат на виконання процесу, а негативною - зниження показників довговічності технічної системи). Для вирішення подібних проблем можуть застосовуватися підвіски з відповідною демфуючою здатністю.

Стійкість напряму руху комбайна (курсова стійкість) оцінюватимемо по критерію коридору руху, а в разі відхилення його значення від допустимого спостерігатиметься порушення курсової стійкості [10].

Якщо напрямок руху мобільної машини задамо двома курсовими кутами φ, ψ , то у випадку їх відхилення від заданої величини φ_P, ψ_P автоматичні системи, які забезпечують рух в режимі автопілота або підрулювання, повинні забезпечити вироблення управляючого сигналу U_φ, U_ψ для зміщення машини на величину $\delta_\varphi = \varphi_P - \varphi, \delta_\psi = \psi_P - \psi$, що відповідає заданому напямку φ_P, ψ_P . Стійкість швидкості руху машини досягається кваліфікацією оператора і технічними можливостями комбайна.

Важливо в процесі роботи комбайна забезпечити стійкість якості процесу. Якщо якість процесу описується деяким параметром H , то якісне виконання процесу можливе при умові:

$$H_M \in [H_{MIN}; H_{MAX}], \quad H_{MIN} = H - \Delta H, \quad H_{MAX} = H + \Delta H, \quad (1)$$

при цьому інтегральний показник відхилення якості роботи по часу визначається у вигляді:

$$I = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (H_M - H)^2 dt \rightarrow MIN. \quad (2)$$

Відомо, що одним із параметрів, які істотно впливають на якість роботи зернозбирального комбайна, є подача хлібної маси в молотильно-сепарувальний пристрій (МСП). Для якісної роботи зернозбирального комбайна необхідно і доцільно забезпечити рівномірність подачі. З метою забезпечення рівномірної подачі хлібної маси використовуються пристрої автоматичного регулювання завантаження МСП, які підтримують її величину близько оптимального значення пропускної здатності комбайна.

Оскільки при русі комбайна впоперек схилу зерновий ворох під власною вагою зміщується на решетах у бік нахилу, а це призводить до погіршення якості роботи. Для забезпечення стійкості якості роботи зернозбирального комбайна на схилах, машини обладнуються також системами вирівнювання робочих органів, застосування решіт жолобчастої форми для виключення зміщення вороху в бік нахилу або їх секційне виконання, підвищення рівномірності подачі маси на очищення, перерозподіл напрямку і величини повітряного потоку відповідно розподілу вороху, рівномірний розподіл маси по поверхні робочих органів та інше.

Крім того, відомі і інші технічні рішення щодо виконання умови стійкості якості застосування універсальних комбайнів на схилах, які забезпечуватимуть роботу без перекидання шляхом встановлення подвоєних коліс, монтування додаткових вантажів на колесах при максимальній ширині колії і мінімальному дорожньому просвіті, заливка в шини води та ін. Адаптація комбайнів до роботи на схилах здійснюється також застосуванням різноманітних автоматичних систем (наприклад, системи просторової 3D-очистки чи системи вирівнювання рами комбайна).

При роботі на схилах доцільно також застосовувати універсальні зернозбиральні комбайни з аксіально-роторним МСП, оскільки втрати зерна при їх роботі за ротором практично не залежать від опорної поверхні, хоча встановлено доцільність їх високопродуктивної експлуатації на рівнинних ділянках. Відомий досвід застосування спеціальних комбайнів (низькокліренсні, крутосхилі і горно-рівнинні) з автоматичною стабілізацією коліс у вертикальному положенні і з роботою на знижених швидкостях.

Якщо ймовірності порушення стійкості положення позначити $P(K1)$, стійкості напрямку – $P(K2)$, стійкості швидкості руху – $P(K3)$, а стійкості якості – $P(K4)$ і т.д. до $P(Kn)$, то із урахуванням суми ймовірностей сумісних і несумісних подій, а також виключаючи

втрата стійкості інших типів, при виникненні одного із них, умова стійкості роботи комбайна на схилах матиме вигляд:

$$P(K) = 1 - \left[\sum_{i=1}^n P(K_i) - \sum_{i,j,i \neq j} P(K_i K_j) + P(K_1 K_2 K_3 K_4 \dots K_n) \right] \rightarrow 1. \quad (3)$$

Висновок. На основі проведеного аналізу особливостей роботи зернозбирального комбайна на схилах встановлено, що для забезпечення стійкості роботи необхідними є виконання умов стійкості положення машин в подовжньому і поперечному напрямках, напряму і швидкості руху, а також якості роботи, які можуть забезпечуватися шляхом застосування технічних систем адаптації.

Список літератури

1. Пришляк В. М. Проблеми землеробства та методологічні аспекти дослідження автоматизації процесів на схилах / В. М. Пришляк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 5. – С. 134–142.
2. Кириєнко Н. М. Моделирование параметров динамической устойчивости машин по уравнению опрокидывания в поперечной плоскости / Н. М. Кириєнко, А. С. Полянський, В. В. Задорожня // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Х., 2012. – Вип. 107. – Т. 2. – С. 20–32.
3. Подригало М. А. Устойчивость колесных машин как сложное эксплуатационное свойство / М. А. Подригало, Д. М. Клец, Н. П. Артемов // Автомобильный транспорт. – 2011. – Вып. 29. – С. 179–183.
4. Райхман Д. Б. К вопросу механизации уборки лаванды на склонах / Д. Б. Райхман // Труды ВНИИЭМК. – 1989. – Т. 20. – С. 158–163.
5. Петренко А. М. Устойчивость специальных транспортных средств / А. М. Петренко. – М.: МАДИ, 2013. – 41 с.
6. Ароко С. Е. Оценка устойчивости валочно-сучкорезно-раскорежечной машины / С. Е. Ароко, С. П. Мохов // Доступ: http://symposium.forest.ru/article/2010/2_technology/Aroko/htm.
7. Козаченко О. В. Теоретичні дослідження стійкості руху сільськогосподарського агрегату / О. В. Козаченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х., 2012. – Вип. 121. – С. 134–139.
8. Самусенко М. Ф. Конструирование и расчет большегрузных транспортных средств. Подвижность и устойчивость / М. Ф. Самусенко. – М.: МАДИ, 1983. – 129 с.
9. *Перспекты* фирм-производителей зерноуборочных комбайнов.
10. Войтиков А. В. Исследование курсовой устойчивости колесного трактора класса 14 кН на склоне / А. В. Войтиков // Дисс. ... к.т.н. – Минск, 1979. – 188 с.

References

1. Pryshlyak, V. M. (2010). Problemy zemlerobstva ta metodolohichni aspekty doslidzhennya avtomatyzatsiyi protsesiv na skhylakh [Problems of agriculture and methodological aspects of research of automation of processes on the slopes]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energetics AIC, K., Vyp. 144, ch. 5, 134–142.
2. Kyryenko, N. M., Polyanskyuy, A. S., Zadorozhnyaya, V. V. (2012). Modelyrovanye parametrov dynamycheskyyu ustoychyvosty mashyn po uravnenyyu oprokydivanyya v poperechnoy ploskosti [Modelling of the dynamic stability of the machines according

- to the equation tipping in the transverse plane]. Bulletin of HNTUSH after Peter Vasilenko, Kh., Vyp. 107, T. 2, 20–32.
3. Podryhalo, M. A., Klets, D. M., Artemov, N. P. (2011). Ustoychyvost' kolesnikhmashyn kak slozhnoe ekspluatatsyonnoe svoystvo [Sustainability as a complex kalesnykas maintenance property]. Road transport, Vip. 29, 179–183.
 4. Raykhman, D. B. (1989). K voprosu mekhanyzatsyy uborky lavandi na sklonakh [To the question of the mechanization of lavender on the slopes]. Bulletin of VNYIEMK, T. 20, 158–163.
 5. Petrenko, A. M. (2013). Ustoychyvost' spetsyal'nykh transportnykh sredstv [Stability of special vehicles]. M.: MADY, 41.
 6. Aryko, S. E., Mokhov, S. P. (2012). Otsenka ustoychyvosti valочно-suchkorezno-raskrezhevochnoy mashyni [Appraisal feller machine sustainability]. Dostup: http://symposium.forest.ru/article/2010/2_technology/Aroko/htm.
 7. Kozachenko, O. V. (2012). Teoretychni doslidzhennya stiykosti rukhu sil'skohospodars'koho ahrehatu [Theoretical studies of stability of motion of the agricultural unit]. Bulletin of HNTUSH after Peter Vasilenko, Kh., Vyp. 121, 134–139.
 8. Samusenko, M. F. (1983). Konstruyrovanye y raschet bol'shehruznykh transportnykh sredstv. Podvyzhnost' y ustoychyvost' [Design and analysis of heavy vehicles. Mobility and stability]. M.: MADY, 129.
 9. Prospekti firm-proyzyvodyteley zernouborochnykh kombaynov [Brochures of the manufacturers of combine harvesters] (2016). 204.
 10. Voytykov, A. V. (1979). Yssledovanye kursovoy ustoychyvosti kolesnoho traktora klassa 14 kN na sklone [Study of the stability of the wheel tractor class 14 kN on the slope]. Dyss. ... k.t.n, Mynsk, 188.

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ РАБОТЕ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ НА СКЛОНАХ С. В. Смоленский

Аннотация. В статье приведены результаты оценки обеспечения устойчивой работы зерноуборочных комбайнов на склонах. Для анализа устойчивости работы были охарактеризованы критерии устойчивости положения, устойчивости направления и скорости движения машины, а также устойчивости качества рабочего процесса зерноуборочных комбайнов. Проведен анализ применения различных систем в конструктивных схемах зерноуборочных комбайнов, которые обеспечивают устойчивость рабочего процесса.

Поскольку при движении комбайна поперек склона зерновой ворох под собственным весом смещается на решетках в сторону наклона, а это приводит к ухудшению качества работы. Для обеспечения устойчивости качества работы зерноуборочного комбайна на склонах, машины оборудуются также системами выравнивания рабочих органов, применение решет желобчатой формы для исключения смещения вороха в сторону наклона или их секционное исполнение, повышение равномерности подачи массы на очистку, перераспределение направления и величины воздушного потока соответственно распределения вороха,

равномерное распределение массы по поверхности рабочих органов и другое.

Кроме того, известны и другие технические решения по выполнению условия устойчивости качества применения универсальных комбайнов на склонах, которые будут обеспечивать работу без опрокидывания путем установления удвоенных колес, монтаж дополнительных грузов на колесах при максимальной ширине колеи и минимальном дорожном просвете, заливка в шины воды и др. Адаптация комбайнов к работе на склонах осуществляется также применением различных автоматических систем (например, системы пространственной 3D-очистки или системы выравнивания рамы комбайна).

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, склон, устойчивость, автоматические системы, критерии, адаптация

ANALYSIS OF SUSTAINABILITY CRITERIA WHEN WORKING COMBINE HARVESTER ON SLOPES

S. V. Smolinskiy

Abstract. *The paper presents the results of the evaluation provide stable work of combine harvesters on slopes. For the analysis of stability was characterized by criteria of sustainability, the sustainability of the direction and speed of movement of the machine, as well as the sustainability of the quality of the working process of combine harvesters. Analysis of the use of various systems of constructive schemes of combine harvesters, which provide the stability of working process.*

Since the movement of the combine across the slope of the grain pile under its own weight is displaced on the sieve in the direction of the tilt, and this leads to deterioration in the quality of work. To ensure the sustainability of the quality of work combine harvester on slopes, the machine is also equipped with a levelling system of the working bodies, the use of sieves grooved shape to avoid displacement of piles in the direction of the tilt or sectional performance, increased uniformity of the feed to the purification, the redistribution of the direction and magnitude of air flow, respectively, of the distribution heap, uniform distribution of mass on the surface of the working bodies and more.

In addition, there are other technical solutions for the implementation of the conditions of stability of the quality of the application of universal harvesters on slopes, which will provide work without tipping by establishing matching wheels to mount any additional goods on wheels with maximum track width and minimum ground clearance, fill the tires and water. the Adaptation of combine harvesters to work on the slopes is the application of various automatic systems (e.g. system of spatial 3D-cleaning or alignment system frame combine).

Keywords: combine harvester, slope stability, auto system, criteria, adaptation