



УДК 631.372

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ТА КЕРОВАНОСТІ РОБОЧОГО РУХУ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

Чорна Т.С., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*Тел./факс (0619) 42-12-65; e-mail: [tatachyorna@yandex.ua](mailto:tatachyorna@yandex.ua)

**Анотація** – в роботі наведено аналіз способів оцінювання стійкості та керованості робочого руху посівних агрегатів.

**Ключові слова** – стійкість руху, керованість, посівні МТА.

*Постановка проблеми.* Біологічні особливості таких культур, як соняшник, кукурудза та деякі інші, при вирощуванні в умовах півдня України найбільший врожай дають при розміщенні рослин за схемою 70х35 см (41 тис. рослин на 1 га) [1]. Основне місце в системі робіт по догляду за посівами цих культур займає міжрядний обробіток, який проводять до 2...3 разів протягом літа. Він підтримує поверхневий шар ґрунту в розпушеному стані, що створює умови для накопичення і збереження вологи, знищення бур'янів [2].

Але не всі трактори можна застосовувати на цій технологічній операції. Придатність трактора до використання у складі просапного агрегату при проведенні міжрядного обробітку, поряд з економічними показниками, визначається точністю руху МТА на його базі відносно рядків рослин і можливістю вписування його ходової системи в міжряддя. Окрім того, для якісного проведення міжрядного обробітку просапних культур підвищенні вимоги висуваються до прямолінійності їх рядків.

*Аналіз останніх досліджень.* Хачатрян Х.А. у своїх дослідженнях особливу увагу приділяв стійкості руху просапних МТА. Він наголошував на «...необхідності якісного виконання посіву, який є вхідними даними для міжрядного обробітку вирощуваних культур. Тому, що точність копіювання робочими органами рядків рослин у значній мірі залежить від їх прямолінійності, а при копіюванні криволінійних рядків значно підвищуються витрати енергії водієм і знижується швидкість агрегатів. Тому швидкість руху МТА в значній мірі обмежується якістю траєкторії рядків» [3].

Особливістю начіпних просапних знарядь є тісний зв'язок під час виконання технологічного процесу стійкості прямолінійного руху і керованості МТА.



Вивченню та дослідженню стійкості руху МТА у горизонтальній площині (бокового руху), як у складі гусеничних, так і колісних тракторів, присвячено багато робіт. Аналітичним розглядом відхилень робочих органів і теорії стійкості під час руху по полю просапних МТА займалися Василенко П.М., Пожидаєв С.П., Дворцов Е.Ф., Астаф'єв В.Л., Гячев Л.В., Лур'є А.Б., Фортуна В.І., А.М. Ляпунов та інші [4 – 11].

Не зважаючи на це, задача стійкості руху МТА у горизонтальній площині до теперішнього часу вирішена не повністю. Головні причини, на наш погляд, наступні: різні тлумачення явища стійкості руху ученими і підхід до дослідження цього процесу; використання різних критеріїв стійкості руху.

Стосовно першої причини, Гячев Л.В. у своїх працях визначає стійкість руху, як властивість МТА протидіяти отриманню початкових збурень [9, 10]. Він відзначає, що «...шляхом раціонального вибору кінематичних і динамічних параметрів МТА необхідно прагнути до підвищення властивостей МТА протидіяти отриманню початкових збурень». Але у своїх працях до кінця цієї проблеми не вирішує.

Ляпунов А.М., в свою чергу, пропонує аналізувати вільний незбурений рух МТА для визначення його схеми і параметрів [12]. Але, як відомо, рух МТА на гоні не є таким [9, 11]. Задача стійкості руху по Ляпунову А.М. зводиться до аналізу структури диференційного рівняння вільного (незбуреного) руху. Але умови руху МТА значно відрізняються від руху, який він розглядає: збурення діють безперервно, а їх значина не може вважатися малою. Крім того, умови Ляпунова А.М. не обмежують тривалість перехідного процесу при поверненні до незбуреного руху. Тому під час бічного руху МТА застосовують інші визначення стійкості, більшість з яких, наприклад праці [14 – 16], можуть бути приведені до наступного вигляду: стійкість руху МТА – це сукупність властивостей, що забезпечують його рух у заданому напрямку.

Фортуна В.І. у своїх працях розглядає поняття стійкості руху як узагальнене поняття стійкості рівноваги, а стійкість руху МТА – здатність його зберігати заданий рух, який передбачає конкретна технологічна операція. На його думку, більш за все на роботу МТА впливає стійкість руху по заданій траєкторії. Її порушення викликає появу огріхів, впливає на рівномірність руху робочих органів. А порушення стійкості руху по заданій траєкторії у горизонтальній площині призводить до зниження якості технологічного процесу, втрати швидкості руху й продуктивності за рахунок подовження фактичного шляху, збільшенню витрат палива на його проходження,



погіршенню умов кочення на криволінійних ділянках в результаті зсуву ґрунту й створення більш глибокої колії, що викликає додаткові витрати енергії на деформацію ґрунту й збільшує опір перекочуванню, підвищує знос ходової частини, механізмів управління трактором і робочих органів сільськогосподарських машин та знарядь. Крім того, все це викликає підвищену втомленість водія і, як наслідок, додаткове зниження якості технологічного процесу. Хоча при необхідності, МТА повинен точно змінювати свій рух у відповідності до впливів на механізм управління, які задає тракторист [12, 17].

З іншого боку, Хачатрян Х.А. вважає, що «...рух МТА стійкий, якщо він мало сприйнятливий до зовнішніх обмежених за значиною, збурень, які намагаються вивести його із заданого напрямку, а при відхиленні від курсу не виходить за межі визначених меж, прагне повернутися до початкового або близького до нього руху» [3].

Аналогічне пояснення стійкості руху МТА пропонує і Лур'є А.Б. [18, 11]. На його думку, стійкість руху МТА – це його реакція на збурюючий вплив. Тому чим менше реакція МТА на збурюючий вплив, тим більшу стійкість руху він має. Натомість, керованість – це реакція МТА на керуючий вплив. Відповідно, чим більше реакція МТА на керуючий вплив, тим краще його керованість.

У своїх роботах Пожидаєв С.П., Шкарівський Г.В. розглядають стійкість руху за Лур'є (як властивості МТА реагувати на збурюючі та керуючі впливи). Вони багато уваги приділяли саме процесу копіювання рядків рослин робочими органами просапного МТА у складі Т-150К з шарнірно-зчленованою рамою, обладнаного здвоєними колесами з шинами 12R38 та начіпного культиватору КРН-8,4. Ними було встановлено, що більш за все на точність руху просапного МТА впливає конструктивно-компонувальна схема [3, 5, 6, 19 – 20].

Також існує поняття «практична» стійкість руху МТА, яку розуміють, як властивість МТА рухатись у межах смуги допусків [3, 11, 21, 22]. Автори у якості достатньої умови стійкості руху розглядають саме необхідність руху у заданій смузі допуску. Таким чином різниця у визначенні стійкості фактично зводиться до ступеню строгості умов руху. Умови А.М. Ляпунова є самими строгими. Як відмічав Л.В. Гячев [9, 10], ці умови забезпечують лише працездатність об'єкту, але не забезпечують необхідної якості технологічного процесу. На нашу думку, краще користуватись умовами «практичної» стійкості.

Визначення «практичної» стійкості при бічному русі надали Б.М. Каспаров [22], Х.А. Хачатрян [3], А.В. Калоев [22], Л.В. Гячев [9, 10] та інші дослідники. Найбільш чітким є визначення Х.А. Хачатряна: «...Рух сільськогосподарського мобільного агрегату стійкий, якщо він



мало сприйнятливий до зовнішніх, обмежених за значиною збурень, які намагаються вивести його із заданого напрямку, а при відхиленнях від курсу не виходить за межі певних меж і прагне повернутися до вихідного або близького до нього руху» [3].

Недоліки визначень інших авторів у тому, що, наприклад, Б.М. Каспаров накладає обмеження на збурюючі впливи, а А.В. Калоев розглядає лише процес повернення об'єкту до незбуреного руху, що не дозволяє конкретизувати оцінку стійкості.

Наведене вище визначення Х.А. Хачатряна є розгорнутим, тому що відображає не тільки зовнішні, але і внутрішні ознаки цього руху. Приймаючи до уваги тільки зовнішні ознаки «практичної» стійкості бічного руху, сформулюємо умови достатності: рух МТА стійкий «практично» у бічному напрямку, якщо під дією обмежених за значиною зовнішніх збурень його бічні відхилення не виходять за межі допусків. Практична стійкість може бути реалізована за рахунок двох якостей об'єкту: неприйняття збурень – стійкості й властивості повернення до попереднього руху – динамічної стійкості. Тому кількісна ступінь «практичної» стійкості буде визначатися ступіннями стабільності й динамічної стійкості, причому між останніми повинно існувати оптимальне співвідношення.

Приймаємо наступні тлумачення: *стійкість* руху МТА – це його реакція на збурюючий вплив, а *керованість* – це реакція МТА на керуючий вплив. Тому, чим менше реакція МТА на збурюючий вплив, тим більшу стійкість руху він має. Натомість, чим більше (до певного рівня) реакція МТА на керуючий вплив, тим краще його керованість.

*Основна частина.* При дослідженні бічного руху МТА дослідники використовують різні підходи: розглядають МТА, що не керується, або сільськогосподарські машини окремо від енергетичного засобу. Але відомо, що такий МТА нестійкий у бічному русі, тому розглядати стійкість його руху не має сенсу. У даній роботі розглядається керуємий МТА в цілому (разом з с.-г. машиною).

Найбільш складним є питання щодо критеріїв стійкості руху, яких у літературних джерелах пропонується значна кількість. В результаті аналізу цих критеріїв було виявлено доцільність їх диференціації на: прямі та умовні, параметричні та узагальнені, кінематичні та динамічні, дійсні та еквівалентні (табл. 1).

Кінематичні критерії ґрунтуються на використанні параметрів, які пов'язані з рухом МТА у бічному напрямку: бічне і курсове відхилення, їх похідні та подібні до них. Кінематичні критерії відображають наслідок, але не відкривають причини такого руху.

Динамічні критерії ґрунтуються на використанні динамічних параметрів руху: сил і моментів, що діють у горизонтальній площині



МТА. Вони у протилежність до кінематичних критеріїв, відображають механізм формування бічного руху, але не висвітлюють його наслідки.

Таблиця 1 –

Критерії	Показник, за яким оцінюється
ПРЯМІ (безпосередньо характеризують рух)	за бічним відхиленням робочих органів
	за бічною швидкістю
	за кутовим відхиленням (координатою чи похідною)
	за кутовою швидкістю (координатою чи похідною)
УМОВНІ (побічно характеризують рух)	за значиною зміщення центру ваги
	за кутовим відхиленням керма
ПАРАМЕТРИЧНІ (характеризують рух одним параметром)	за середнім інтервалом між керуючими впливами або середньою боковою швидкістю
	поточним або середнім значенням бокового чи курсового відхилення
	за радіусом кривизни траєкторії
	середнім відхиленням і середньою швидкістю рульового колеса
	за дисперсією вказаних параметрів або їх кореляційною функцією
	за спектральною щільністю
УЗАГАЛЬНЕНІ (характеризують рух декількома параметрами)	к-т подовження шляху ( $K_{\text{под.}} = (L_{\text{ф}} - L_{\text{п}}) / L_{\text{п}}$ , де $L_{\text{ф}}$ , $L_{\text{п}}$ – довжина фактичної траєкторії МТА і залікової ділянки)
	к-т відхилення від траєкторії
	комплексний показник стійкості руху ( $K = \omega_{\text{ср}} \cdot L_{\text{ср max}}$ де $\omega_{\text{ср}}$ – середня кутова швидкість повороту рульового колеса; $L_{\text{ср max}}$ – середньмаксимальне бічне відхилення осі передніх коліс трактору)
	коефіцієнт, що враховує стійкість руху ( $K_{\text{рух}} = (D_{\text{в.ет.}} - D_{\text{вет.}}) / (D_{\text{в.ф.}} \cdot D_{\text{вф.}})$ , де $D_{\text{в.ет.}}$ , $D_{\text{вет.}}$ , $D_{\text{в.ф.}}$ , $D_{\text{вф.}}$ – відповідно дисперсії бічних відхилень і їх швидкостей для агрегату з еталонними і фактичними параметрами)
	ступінь стійкості ( $\sigma = d / (v \cdot \tau)$ де $d$ – радіус кривизни траєкторії знаряддя відносно миттєвого центру його обертання, $v$ – поступальна швидкість знаряддя, $\tau$ – час, який необхідний для зменшення початкового відхилення до припустимого значення)

Деякі дослідники викривленість рядків просапних культур оцінюють значиною відхилення їх траєкторії на заданій довжині. За агротехнічними вимогами непрямолінійність сходів можна вважати прийнятною, якщо на довжині 50 м максимальне відхилення траєкторії рядка від його осової лінії не перевищує 5 см [2].

Не дивлячись на простоту визначення, інформативність цього методу є теж недостатньою. Так, для двох різних за внутрішньою



природою, коливальних процесів значина пропонуємого показника викривленості рядків просапних культур буде однаковою (рис.1).

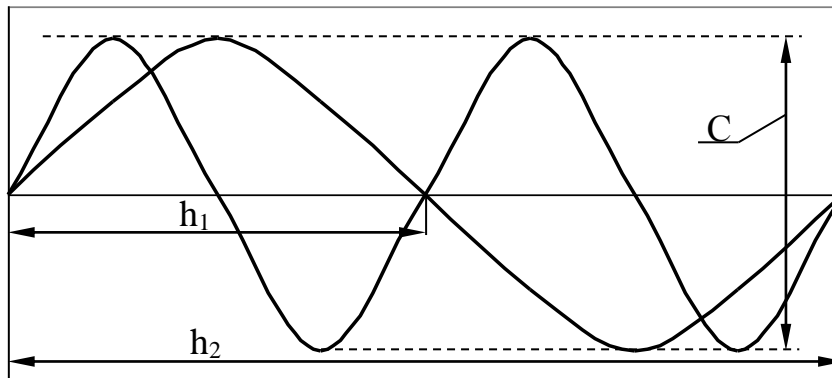


Рис.1. Траєкторії рядків з різними викривленнями:  $C$  – розмах (амплітуда),  $h_1$ ,  $h_2$  – період коливань траєкторії першої та другої відповідно.

С.П. Пожидаєвим запропоновано показник ( $\mu$ ), який більш вдало розкриває внутрішню природу коливального процесу, зв'язуючи між собою розмах ( $C$ ) та період ( $h$ ) коливань траєкторії рядка просапної культури [6, 20, 23]

$$\mu = C/h \quad (1)$$

Для розрахунку величини  $\mu$  реального рядка рослин слід, як вказує автор «...візуально виділити ряд окремих синусоїдальних хвиль і провести вимірювання розмаху  $C$  та довжини  $h$  кожної з них... Після цього, згідно з виразом (1) для кожної ділянки рядка визначаються окремі оцінки непрямолінійності, а потім, за допомогою відомих співвідношень, їх середню значину, дисперсію та інші статистичні характеристики». Попри все, цей метод не позбавлений суттєвих недоліків. По-перше, він дуже трудомісткий. По-друге, як і у попередників, невідомо, яка значина показника є прийнятною, а яка – ні.

Проте, роздільне застосування динамічних і кінематичних критеріїв має свої недоліки. По-перше, значення параметрів об'єкту, що оптимізується, за даними критеріями може не співпадати. По-друге, способи оптимізації цих параметрів за вказаними критеріями різні: за динамічними – теоретичний (розрахунок), а за кінематичним – експериментальний. Тому виконуючи оптимізацію параметрів теоретичним шляхом із використанням кінематичного критерію, можливо дійти до протиріччя, яке буде ускладнювати задачу оптимізації.

Для усунення даного недоліку необхідно об'єднати динамічні і кінематичні критерії. На наш погляд, найбільш вдало вказані критерії об'єднуються у виразі [3, 18, 11, 24]

$$S_y(\omega) = [A(\omega)] \cdot S_M(\omega), \quad (2)$$



де  $S_y(\omega)$ ,  $S_M(\omega)$  – спектральні щільності стаціонарних процесів бічного відхилення об'єкту і моменту збурюючих сил;

$A(\omega)$  – амплітудно-частотна характеристика «момент сил – бічне відхилення».

Виконавши інтегрування (2), отримуємо вираз критерію «практичної» стійкості у вигляді дисперсії

$$D_y = \int_0^{\infty} [A(\omega)]^2 \cdot S_M(\omega) \cdot d\omega, \quad (3)$$

Прийнятому визначенню «практичної» стійкості у якості прямих параметричних критеріїв відповідають: дисперсія (середнєквадратичне відхилення), кореляційна функція і спектральна щільність бічних відхилень. Причому кореляційна функція і спектральна щільність несуть додаткову інформацію про внутрішню структуру бічного руху і досить часто є обов'язковими.

Згідно агротехнічних вимог відхилення сходів просапної культури від вісі рядка рекомендується вимірювати з кроком 0,5 м [2]. Розрахунками встановлено, що дисперсія коливань рядка просапної культури становить 12,50 см<sup>2</sup>. Частота зрізу спектральної щільності дорівнює при цьому  $\omega_{зр} = 0,25 \text{ м}^{-1}$  [25, 26]. Звідси отримуємо комплексний частотно-дисперсійний показник прийнятної непрямої рядків просапних культур у наступному вигляді:

$$D \leq 12,50 \text{ см}^2; \omega_{зр} \leq 0,25 \text{ м}^{-1}.$$

*Висновок.* Найбільш інформативним показником, який показує не тільки викривленість, але і внутрішню структуру бічного руху є частотно-дисперсійний показник непрямої рядків просапних культур.

*Література.*

1. Державний насінневий фонд України. Кукурудза. Характеристика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nsfond.org.ua/?id=607](http://www.nsfond.org.ua/?id=607)
2. Орманджи К.С. Контроль качества полевых работ / К.С. Орманджи – М.: Росагропромиздат, 1991. – 191 с.
3. Хачатрян Х.А. Стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов / Х.А. Хачатрян. – М.: Машиностроение. – 1974. – 206 с.
4. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / П.М. Василенко // Сборник трудов по земледельческой механике. – М., 1954. – Т.2. – С. 73 – 93.62
5. Траєкторні властивості навісного культиваторного агрегату з трактором Т-150К / С.П. Пожидаєв, П.Г. Ляшенко, О.О. Юшин, С.Ф. Голубчик, М.С. Єфименко, А.Д. Левітанус // Вісник сільськогосподарської науки.- 1980.-№11.- С. 31 – 35.



6. *Пожидаев С.П.* До питання про вибір показника для оцінки на прямолінійності рядків просапних культур / *С.П. Пожидаев* // Вісник сільськогосподарської науки. – 1980. – №11. – С. 61-64.
7. *Дворцов Е.Ф.* Оценка управляемости тракторов / *Е.Ф. Дворцов* // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1960. – №3. – С. 8 – 11.
8. *Астафьев В.Л.* Повышение точности обработки рядков пропашных культур: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / *В.Л. Астафьев* ; Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Челябинск, 1989. – 16 с.
9. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / *Л.В. Гячев.* – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та. – 1976. – 192 с.
10. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / *Л.В. Гячев.* – М.: Машиностроение. – 1981. – 206 с.
11. *Лурье А.Б.* Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / *А.Б. Лурье.* – Л.: Колос. – 1970. – 376 с.
12. *Фортуна В.И.* Оптимальная скорость агрегата при междурядной обработке / *В.И. Фортуна* // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства.- 1961. – №6. – С. 18 – 21.
13. *Ляпунов А.М.* Общая задача об устойчивости движения / *А.М. Ляпунов.* – М.: ГИТТЛ, 1950. – 195 с.
14. *Бартаханов Г.Б.* Исследование устойчивости движения и управляемости колесного агрегата в условиях эксплуатации / *Г.Б. Бартаханов* // Научные основы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов. – М., 1965.– С. 57 – 65.
15. *Возняк В.Н.* Исследование устойчивости движения и управляемости машинно-тракторного агрегата при междурядной обработке пропашных культур на повышенных скоростях: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.20.01 / *В.Н. Возняк.* – Ставрополь, 1970. – 25 с.
16. *Завалишин Ф.С.* Устойчивость и управляемость машинно-тракторного агрегата с позиции технологической надежности / *Ф.С. Завалишин, Г.Л. Акимов, Н.П. Миляев* // Научные труды Воронежского СХИ. – Воронеж, 1978. – Т.101. – С.12 – 20.
17. *Фортуна В.И.* Технология механизированных сельскохозяйственных работ / *В.И. Фортуна В.И., С.К. Миронюк.* – М.: Агропромиздат. – 1986. – 304 с.
18. *Лурье А.Б.* Широкозахватные почвообрабатывающие машины / *А.Б. Лурье, А.И. Любимов.* – Л.: Машиностроение, 1981. – 270 с.
19. *Пожидаев С.П.* Обоснование способа повышения точности движения пропашного агрегата с трактором Т-150К: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.20.01 / *С.П. Пожидаев* ; Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – К., 1984. – 17 с.





20. *Пожидаев С.П.* Дослідження точності руху просапного агрегату на базі трактора Т-150К / *С.П. Пожидаев, Г.В. Шкарівський* // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К., 1992. – Вип. 75. – С. 12 – 16.
21. *Каспаров Б.М.* Об устойчивости прямолинейного движения управляемых колесных навесных сельскохозяйственных агрегатов / *Б.М. Каспаров* // Труды ВИМ. – М., 1972. – Т.60. – С. 50 – 56.
22. *Калоев А.В.* Основы проектирования систем автоматического вождения самоходных машин / *А.В. Калоев.* – М.: Машиностроение. – 1978 – 152 с.
23. *Пожидаев С.П.* Обґрунтування вимог до тракторних властивостей посівного та просапного агрегатів / *С.П. Пожидаев* // Вісник сільськогосподарської науки. – 1983. – №4. – С. 22 – 25.
24. *Баев И.В.* Обоснование критериев устойчивости движения сельскохозяйственных машин и агрегатов в горизонтальной плоскости / *И.В. Баев* // Труды УСХА. – К., 1986. – С. 44 – 54.
25. *Чорна Т.С.* Використання частотно-дисперсійного показника оцінки непрямолінійності рядків просапних культур / *Т.С. Чорна* // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – №12(2). – С. 108 – 113.
26. *Черная Т.С.* Частотно-дисперсионный показатель оценки непрямолинейности рядов пропашных культур / *Т.С. Черная, В.Т. Надыкто, О.П. Назарова* // Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 2009. – №8. – С. 15 – 17.

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНИВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ РОБОЧЕГО ДВИЖЕНИЯ ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ**

Черная Т.С.

**Аннотация – в работе приведен анализ способов оценивания устойчивости и управляемости рабочего движения посевных агрегатов.**

## **THE ANALYSIS OF ESTIMATION METHODS OF STABILITY AND CONTROLLABILITY OF SOWING AGGREGATES LABOR MOVEMENT**

T. Chorna

### *Summary*

**The analysis of estimation methods of stability and controllability of the sowing aggregates labor movement are resulted.**