

УДК 629.3.014.2.001.5

## МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ КОЛІСНОЇ МАШИНИ

Дідур В.А., д.т.н.,

Бондар А.М., асп.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Тел. (06192)-54017, 093-6907775.*

**Анотація** – в статті розглянуто питання моделювання «людино-машинної» системи, наведені моделі рульових керувань, запропонована методика проведення імітаційного експерименту та визначені оціночні критерії керованості моделі з різними типами і конструкціями рульових керувань. Наведені попередні результати дослідження керованості моделі мобільних машин в режимі прямолінійного руху.

**Ключові слова:** керованість, «людино-машинна» система, математична модель, інтерактивний режим, МТА, рульовий механізм, оператор, параметри руху, аналогово-цифровий перетворювач.

*Постановка проблеми.* Відомо, що натурні дослідження керованості мобільних машин є дуже дорогими та тривалими. В останній час розробка складних систем, в склад яких входить людина оператор, не може бути виконана без застосування моделювання процесів в інтерактивному режимі. Метою моделювання є дослідження взаємозв'язку між керованістю мобільної машини з одного боку, умовами його руху, конструкцією і параметрами його рульового управління – з іншого.

*Аналіз останніх досліджень.* Відомі намагання математичного [4] описання поведінки людини, однак це пов'язано з невиправданими спрощеннями можливостей людини. Відомо, що в сучасній, складній техніці використовуються комп'ютерні моделюючі комплекси та симулятори.

З одного боку вони використовуються для тренування моторних навичок оператора, з іншого боку – широко використовуються для отримання оптимальних експлуатаційних показників систем керу-

---

Наук. керівник – д.т.н., проф. Дідур В.А.

© д.т.н., проф. Дідур В.А., асп. Бондар А.М.

вання та загальною оцінкою можливостей нових типів систем керування [1].

Такий підхід дозволяє отримати достовірні оцінки керованості складних систем управління, синтезувати таку систему керування, яка відповідає можливостям людини оператора та забезпечує високі показники керованості. І також можливо дослідити нетрадиційні рульові керування без виготовлення їх складних конструктивних моделей.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).*

1. Розробка математичної моделі процесу керування транспортного засобу на підвищених швидкісних режимах;

2. Розробка програмного забезпечення для імітаційного моделювання процесу керування ДТЗ.

*Основна частина.* Для побудови математичної моделі процесу керування МТА необхідно розглянути схему перетворювання координат для розрахунку параметрів дискретних моделей.

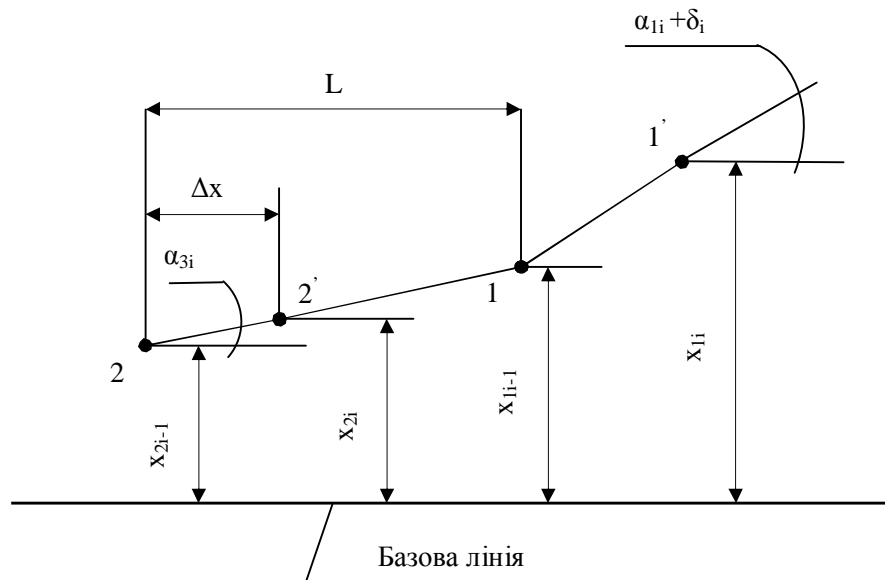


Рис. 1. Схема перетворювання координат для розрахунку параметрів дискретних моделей.

$V$  – швидкість руху МТА;  $L$  – довжина колісної бази трактора;  $W$  – передатне відношення рульового механізму;  $\alpha$  – кут повороту рульового колеса;  $\alpha_1$  – кут повороту передніх керуючих коліс;  $\alpha_3$  – поточне значення курсового кута;  $\Delta t$  – шаг квантування по часу (0.05 с);  $x_1$ ,  $x_2$  – поточне значення відхилень від базової лінії переднього та заднього коліс трактора відповідно;  $\Delta x$  – шаг квантування моделі по переміщенню;  $\delta$  – значення збурюючого кута уводу еластичних шин.

Невелике значення кутів  $\alpha_1$ ,  $\alpha_3$  і  $\delta$  дозволило уникнути застосування тригонометричних формул та визначило простоту математичних моделей, конкретний вид яких залежить від принципу дії особливостей рульових керувань моделюємих МТА.

Розглянемо деякі рульові керування:

1. Традиційне рульове керування.

Базовий варіант – рульове керування трактора з передніми управляючими колесами і з постійним передаточним відношенням рульового приводу.

Дискретна математична модель в даному випадку має вигляд:

$$\begin{cases} \alpha 1_i = \frac{\alpha_i}{W}; \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ \alpha 3_i = \frac{(x1_{i-1} - x2)}{L}; \\ x1_i = x1_{i-1} + (\alpha 3_i + \alpha 1_i + \delta_i) \cdot \Delta x; \\ x2 = x2 + \alpha 3_i \cdot \Delta x \end{cases} \quad (1)$$

2. Рульове керування постійної чутливості:

Конструкція такого рульового керування відображена у роботах [1], [2] і забезпечує сумісність високої маневреності і стабільності руху МТА на підвищених швидкостях.

$$\begin{cases} \Delta x = V_i \cdot \Delta t; W_i = W \left( 1 + \frac{V_i}{V_0} \right) \\ \alpha 1_i = \frac{\alpha_i}{W_i}; \\ \alpha 3_i = \frac{(x1_{i-1} - x)}{L}; \\ x1_i = x1_{i-1} + (\alpha 3_i + \alpha 1_i + \delta_i) \cdot \Delta x; \\ x2 = x2 + \alpha 3_i \cdot \Delta x \end{cases} \quad (2)$$

Розроблене програмне забезпечення дає можливість безперервно проводити всі три етапи дослідження: введення вихідних даних, проведення моделювання та обробка результатів. Цикл дослідження займає не більш 10 хвилин.

Робота програми починається з налаштування симулятора:

- визначається тип моделі рульового керування;

- параметри машини та режими руху;
- встановлюється співвідношення між реальним та віртуальним рульом, шляхом визначення чутливості миші;
- встановлюється наявність збурюючих впливів;
- формування та фіксація файлів експериментальних даних.

Під час виконання пробного віртуального заїзду при натисканні на кнопку F1 починається рух віртуальної моделі, плавний розгін машини до заданої швидкості, двухсекундна пауза для стабілізації керування 30-ти секундна фаза фіксації визначаючих параметрів.

В процесі керування оператор намагається утримати модель машини вздовж базової лінії. Таким чином, аналізуючи динаміку процесу керування та його точність, є можливість отримати достовірні оцінки керованості даної моделі. Для цього використовуються стандартні математичні пакети дисперсійного і спектрального аналізу.

На рис. 2 відображена візуальна інформація про положення машини на дорозі в перспективі.



Рис. 2. Візуальне відображення дороги в перспективі на моніторі під час активної фази моделювання.

Обробка отриманої інформації, яка проводиться безпосередньо по закінченню експеримента на комп'ютері, дозволяє оперативно оцінювати керованість тієї чи іншої моделі МТА. Правомірність такого підходу полягає в наступному:

- крізь зоровий канал оператор отримує біля 90% інформації відносно зовнішньої обстановки;
- час реакції тракториста на відхилення контролюємого процесу складає мінімум 0.5 секунди, що більш ніж у два рази перевищує шаг квантування по часу при моделюванні.

У процесі інтерактивного моделювання керованого руху МТА особливе місце займає моделювання випадкових впливів сторонніх

сил, які, за визначенням, мають природне походження [3]. Працюючий МТА знаходиться під дією факторів, які впливають на нього та відхиляють від заданого руху, що викликає необхідність постійного корегування його руху і знижує стійкість спрямованого руху. До факторів що збурюють можна віднести:

- коливання величини і напрямку гакового зусилля;
- невідповідність подовжних тягових сил на правих і лівих колесах;
- сили інерції остову трактора, викликані не рівною опорною поверхнею.

Дія цих факторів полягає в непередбачуваних коливаннях бічних сил на осях МТА. Це в свою чергу викликає пропорційний увод еластичних шин машини.

Оцінки збурюючих впливів проведені під час польових іспитів технологічних МТА показали наступне:

- випадкові коливання величини кутів уводу коліс розподілені за нормальним законом;
- амплітуда цих коливань досягає  $1-2^\circ$
- спектральна характеристика носить рівномірний характер до частот 50 Гц;

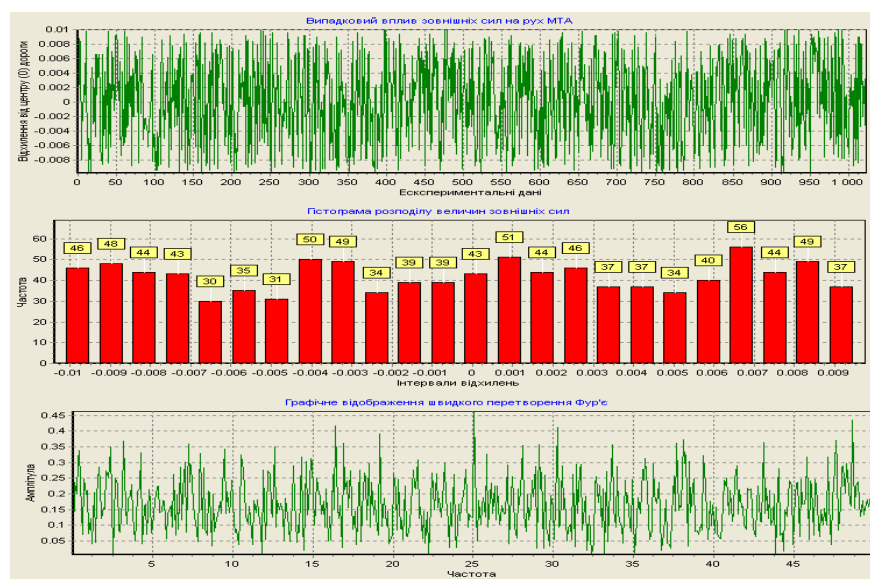


Рис. 3. Гістограма розподілу 1024 випадкових величин, отриманих програмним методом.

Для здійснення інтерактивного моделювання процесу керованого руху потрібно генерувати послідовність випадкової величини, яка

розподілена по нормальному закону, масштабована по амплітуді, має рівномірний спектр.

Моделювання випадкових величин із заданими законами розподілу досить складна задача. У даному контексті особливе значення відіграють випадкові числа, рівномірно розподілені в інтервалі (0, 1). Найважливіша їх властивість полягає в тому, що за їх допомогою можна отримати вибірккові значення, які мають будь-який інший розподіл, або промоделювати випадковий процес з різними статистичними властивостями.

Алгоритм способу такий [3]:

1. формування масиву  $r$  незалежних, рівномірно розподілених величин;
2. обчислення суми  $Z$ :

$$Z = \sum_{i=1}^{12} r_i - 6, \quad (3)$$

де:  $r_i$  – відповідні елементи масиву даних, які рівномірно розподілені;

3. перехід від випадкової величини з нульовим математичним сподіванням і одиничним середньоквадратичним відхиленням до випадкової величини  $X$ , яка дає змогу виконати лінійне перетворення:

$$X = \sigma_x \cdot Z + m_x, \quad (4)$$

де  $\sigma_x$  – середньоквадратичне відхилення;  
 $m_x$  – математичне сподівання.

На даному етапі роботи ми можемо зробити припущення про можливість знехтувати фіксованою величиною математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення. Дане припущення дозволить суттєво спростити код програми та збільшити швидкість обробки даних.

При одержанні експериментальних даних по даній функції ми одержуємо нормальний розподіл випадкової величини (рис.4), що доцільно використовувати при моделюванні дії зовнішніх сил на рух МТА.

Після закінчення обробки результатів моделювання необхідно їх зберегти, а потім можливо провести наступний віртуальний заїзд з іншими вихідними параметрами. Після цього формується база даних і за допомогою статистичних програм відбувається обробка отриманих результатів.

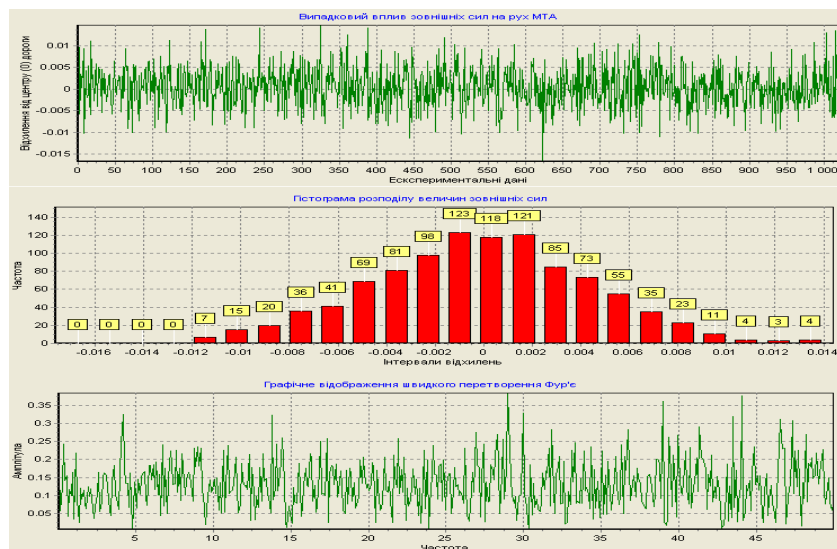


Рис. 4. Гістограма нормального розподілу 1024 випадкових величин, отриманих програмним методом.

#### Висновки:

1. Запропонована методика дає можливість досліджувати вплив збурюючих факторів на стійкість руху та керованість МТА. Запропонований алгоритм генерації збурюючих впливів дає змогу проводити імітаційне моделювання процесу керування МТА на комп'ютерному симуляторі з урахуванням швидкості руху МТА, кута повороту рульового колеса та типу рульового механізму.

2. Для реєстрації процесів на вході та виході для колісного трактора МТЗ-120, який працює в агрегаті з культиватором КРН-5,6 було розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє зробити реєстрацію кута повороту рульового колеса, швидкості руху трактора та положення його рами відносно базової лінії.

3. Внаслідок проведення імітаційного моделювання з використанням розробленої апаратури отримані значення такого параметру, як приведена добротність, на різних швидкісних режимах. Ці значення складають від  $87 \text{ с}^{-1}$  до  $154 \text{ с}^{-1}$  для трактора МТЗ - 120 в агрегаті з культиватором КРН - 5,6 при міжрядному обробітку ґрунту.

#### Література

1. *Петров.В.О.* Постійна чутливість рульового керування мобільних машин у транспортному режимі.//*В.О. Петров., А.М. Бондар* //Праці Таврійської державної агротехнічної академії, Вип. 43. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – с.98.

2. Патент на корисну модель № 24161, В62D 1/18, від 25.06.2007 Рульова колонка транспортного засобу.

3. *Петров В.О.* Синтез ергономічних рульових управлінь для мобільних машин. / *В.О. Петров* // Праці таврійської державної агротехнічної академії, Вип. 1.- т. 17- Мелітополь: ТДАТА, 2000.- с. 60-64

4. *Бондар А.М.* До питання дослідження рульових керувань із перемінним передаточним числом/ *А.М. Бондар, М.С. Бондар, М.М. Луб'яний*// Праці Таврійської державної агротехнічної академії/ відп. за вип. В.Т. Надикто. – Мелітополь, 2005. - Вип. 26. - с.81-87

### **МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ**

В.А. Дидур, А.Н. Бондарь

*Аннотация* – в статье рассмотрен вопрос моделирования «человеко-машинной» системы, приведены модели рулевых управлений, предложена методика проведения имитационного эксперимента и определены оценочные критерии управляемости модели с разными типами и конструкциями рулевых управлений. Приведены предварительные результаты исследования управляемости модели мобильных машин в режиме прямолинейного движения.

### **TECHNIQUE OF IMITATING MODELLING OF MANAGERIAL PROCESS OF THE WHEEL MACHINE**

V. Didur, A. Bondar.

#### *Summary*

Issue of “combined human and machine” system modeling was considered, steering models were given, technique of imitating experiment conducting was proposed and evaluation criteria of model control with different types and constants of steering were defined in article. Previous results of studying of mobile machines controllability in straight-line motion regime were given.