

УДК 621.396.946 : 004.042

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/07>**Лисенко О.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Тачиніна О.М.**

Національний авіаційний університет

Новіков В.І.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Фуртат О.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Фуртат С.О.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

МЕТОД АЛГОРИТМІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ СТЕНДУ НАПІВНАТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МІНІДРОНУ

Стаття присвячена викладу результатів математичного моделювання руху вузла цілі, який імітує мінідрон і закріплений на каретці стенду напівнатурного випробування сенсорів охоронної інформаційно-керуючої системи. Показано, що математичне моделювання дозволило передбачити можливість виникнення автоколивань при моделюванні захисних маневрів мінідронів і підтвердити ефективність алгоритмічного способу модернізації стенду.

Результати комп'ютерного моделювання роботи стенду показують, що при напівнатурному моделюванні як детермінованого так і стохастичного руху мінідрона можливе виникнення автоколивань і нестійкого режиму роботи гіпотетичного типового двовісного напівнатурного стенду. Ці автоколивання не виникали раніше при моделюванні руху інерційних об'єктів, оскільки перехресні зв'язки між каналами при напівнатурному моделюванні з малими прискореннями не були істотними. Результати моделювання показали існування науково-технічної проблеми, яка виникає при спробі використати наявні напівнатурні стенди для моделювання руху маневрених цілей. Для вирішення науково-технічної проблеми запропоновано виконати алгоритмічне доопрацювання стежучої системи управління приводом.

Запропонований в статті комплексний алгоритм роботи стежачих приводів складається з двох алгоритмів: алгоритму цифрового модального регулятора і алгоритму цифрового пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора. Перший алгоритм коригує динамічні властивості електричного двигуна, а другою забезпечує квазіадаптивність управління по відношенню до обурюючої дії перехресних зв'язків.

Стенди напівнатурного моделювання, модернізовані викладеним в статті алгоритмічним способом, можуть бути використані для випробувань вузлів стеження за окремими мінідронами або кластерами мінідронів (розподіленими дронами). Ці вузли стеження можуть знайти застосування в інформаційно-керуючих системах, з людиною оператором або штучним інтелектом-оператором (ШІО) в контурі дистанційного керування засобами інспекції і знищення цілей охоронної інформаційно-керуючої системи.

Напрямом подальших досліджень слід вважати побудову математичної моделі руху вузла цілі, який буде встановлений на каретку тривісного стенду напівнатурного випробування сенсорів охоронної інформаційно-керуючої системи.

Ключові слова: математичне моделювання руху, вузол цілі, стенд напівнатурного випробування, сенсорна мережа, літальні роботи, дрони, охоронна інформаційно-керуюча система.

Постановка проблеми. Нині наявність протидронної оборони є однією з найважливіших умов вирішення проблеми забезпечення безпеки (стійкого функціонування) об'єктів критичної інфраструктури держави [1]. Особливо актуаль-

ним є завдання захисту від несанкціонованого проникнення на територію зони окремих мінідронів, що охороняється, їх груп і «москітного» нальоту мінідронів. Одним із способів вирішення цієї задачі є використання охоронної інформа-

ційно – керуючої системи (ОІКС). Первинна інформація про ціль в таких системах поступає від стаціонарних, мобільних або квазімобільних сенсорних мереж. Ця інформація використовується в ОІКС для подальшої ідентифікації, інспекції, локалізації(перехоплення) і якщо знадобиться знищення мінідрона (наприклад, вузьконаправленим електромагнітним імпульсом) [2]. Критично важливими елементами сенсорних мереж ОІКС є сенсори цілі(СЦ). Саме від ефективності роботи СЦ залежить якість інформації, яка використовується для ухвалення рішення в ОІКС. СЦ можуть працювати на одному фізичному принципі (однорідні СЦ) або різних(мультисенсори цілі або різнорідні СЦ). Найважливішим елементом СЦ є вузол стеження за ціллю(ВСЦ). На етапі перевірки правильності прийнятих конструктивних рішень СЦ разом з ВСЦ направляють на напівнатурні випробування.

Для випробувань використовуються стенди напівнатурного моделювання плоского(двовимірного) або просторового(тривимірного) руху цілі. Маневри цілі моделюються рухом вузла цілі стенду (імітатором руху цілі – Target Motion Simulators(TMS)) за допомогою стежачих приводів, які діють уздовж двох або трьох взаємно перпендикулярних осей. Випробовуваний сенсор розміщують в спеціальному опорно-поворотному пристосуванні, яке просторово розташовується по відношенню до вузла цілі з урахуванням масштабу моделювання. ВСЦ із складу СЦ перевіряють на стійкість захоплення цілі і якість стеження за нею. Нині відповідні спеціалізовані підприємства мають в наявності двох- і трьох-осеві стенди напівнатурного моделювання (см. рис. 1, рис. 2) [3].

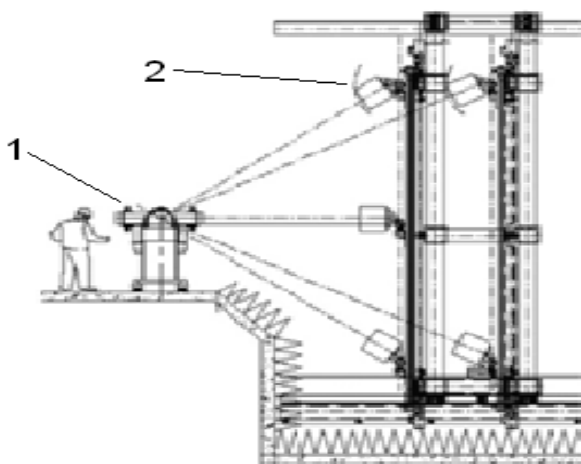


Рис. 1. Приклад гіпотетичного тривісного стенду напівнатурного моделювання:

1 – опорно-поворотне пристосування для установки сенсора цілі; 2 – Target Motion Simulators(TMS); три осі переміщення TMS взаємно перпендикулярні: показано можливі положення TMS по двох взаємно перпендикулярним осям, які лежать в площині малюнка; третя вісь перпендикулярна площині малюнка

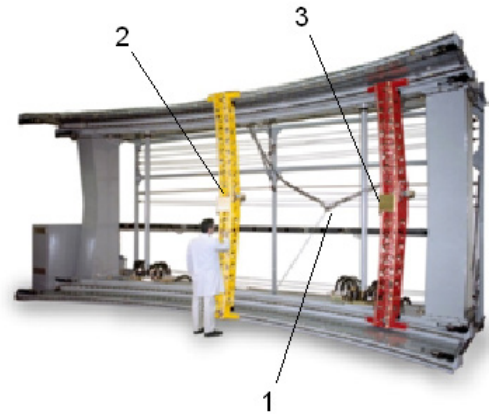


Рис. 2. Приклад суміщення двох двоосних гіпотетичних стендів напівнатурного моделювання на одній опорній рамі:

1 – опорно-поворотне пристосування для установки сенсора цілі; 2 – Target Motion Simulators(TMS) першого двоосного стенда; 3 – Target Motion Simulators(TMS) другого двоосного стенда

Постановка завдання. Існуючі стенди призначені для напівнатурного моделювання руху об'єктів, які менш рухливі в порівнянні з мінідронами. Це означає, що динамікою самих стендів при моделюванні руху мети можна нехтувати. Якщо моделювати рух надманеврених мінідронів за допомогою цих же стендів, то виникають істотні динамічні погрішності. Вирішити завдання моделювання руху мети, якою є маневрений мінідрон, можна двома способами. Перший – це створення спеціалізованих стендів з поліпшеними динамічними характеристиками і другий – це алгоритмічна модернізація існуючих стендів, що є більш економічним. Викладенню методу алгоритмічної модернізації існуючих двоосних стендів напівнатурного моделювання і присвячена ця стаття.

Вирішення проблеми. Розглядається двоосний стенд напівнатурного моделювання руху цілі. Приводи стенду дозволяють переміщати каретку із закріпленим на ній вузлом цілі. Переміщення каретки(вузла цілі) імітує маневри цілі по відношенню до сенсора мети ОІКС, який відстежує цей рух. Спеціально закріплене на каретці устаткування імітує розпізнавальні ознаки цілі(наприклад, що демаскує акустичне або теплове випромінювання, або відбиваючі властивості мінідрона при його опроміненні електромагнітним випромінюванням в радіочастотному діапазоні або в діапазоні світлових хвиль при опроміненні лазерним локатором). Припускаємо самий простий варіант закріплення сенсора цілі ОІКС – сенсор закріплений нерухомо. На певній відстані від сенсора цілі ОІКС, з урахуванням масштабу і ракурсу моделювання, розташовується площина спостереження руху цілі. Положення цієї площини задається осями руху вузла цілі напівнатурного стенду.

Вузлу цілі задають типові рухи мінідрона і експериментально перевіряють ефективність функціонування облаштування стеження за ціллю, яке входить до складу сенсора цілі ОІКС.

Вузол цілі стенду напівнатурного моделювання повинен адекватно реальності моделювати рух мінідрона відносно сенсора цілі ОІКС. Стенд напівнатурного моделювання не повинен вносити істотні помилки у вид траєкторії мінідрона і темп руху по ній. Це означає, що динамічні властивості стежачих приводів вузла цілі не повинні істотно впливати на типовий характер руху, який моделюється. Якщо цілі інерційна, то динамічними властивостями тих, що стежать приводів вузла цілі можна нехтувати. Проте сучасні мінідрони мають малу масу і головні моменти інерції і потужну енергетику. Це дозволяє їм виконувати швидкі і складні маневри. Такі маневри були недоступні для тих типів цілей, для яких проектувалися існуючі стенди напівнатурного моделювання. Перевіримо на комп'ютерній математичній моделі руху вузла цілі можливості існуючих двоосних стендів напівнатурного моделювання по адекватному відтворенню захисних маневрів мінідронів.

Усі розрахунки і побудову комп'ютерних математичних моделей виконано з використанням системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink.

Комп'ютерна математична модель типової динаміки руху мінідрона відносно сенсора цілі уздовж осей OX і OY площини спостереження руху цілі задається відповідно блоками Transfer Fon2 і Transfer Fon6 (див. рис.3) [4 – 7]. Осі OX і OY розташовані в площині спостереження руху цілі : вісь OY – це лінія перпендикулярна площині горизонту і що проходить через вузол цілі, а вісь OX – це лінія, що проходить через вузол цілі і паралельна лінії перетину площини спостереження руху цілі з площиною горизонту. На графічних пристроях XYGraph1 і XYGraph2 можна спостерігати відповідно траєкторії еталонного руху мінідрона і результат моделювання того руху за допомогою типового гіпотетичного двоосного стенду напівнатурного моделювання із стежачими приводами постійного струму. Еталонний рух мінідрона – цей тестовий рух, з використанням якого перевірятимуться (випробовується, тестується) сенсор цілі. Математична модель приводів, які діють уздовж осей OX і OY , приймається однаковою і задана на схемі моделювання (рис.1) блоками State Spase1 і State Spase2 (параметри моделі приведені на схемі).

Виконаємо моделювання руху мінідрона в площині спостереження руху цілі. Припускаємо, що уздовж кожної осі рухливості гіпотетичного стенду напівнатурного моделювання діє стежачий цифровий привід з цифровим пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором. Коефіцієнти передачі пропорційного, інтегрального і диференціального сигналів цифрового регулятора, який використовувався при моделюванні

роботи стенду-прототипу, були прийняті однакоовими для обох каналів і дорівнювали відповідно до 1, 0.08 і 1.47 (параметри цифрового пропорційно-інтегрально-диференціального розрахувалися за методикою Зиглера-Николса [4]).

Розглядалися три види еталонного руху мінідрона: «овал»; «фігура Лісажу»; «випадкове блукання» [4-7]. Результат моделювання цих еталонних рухів представлений на рис. 4 (а, в), рис. 5 (а, в), рис. 6 (а, в). Розмірність по осях OX і OY відповідає метрам.

Результати комп'ютерного моделювання показують, що при напівнатурному моделюванні як детермінованого, так і стохастичного рухів мінідрона можливе виникнення автоколивань і нестійкого режиму роботи гіпотетичного типового двоосного напівнатурного стенду. Ці автоколивання не виникали раніше при моделюванні руху інерційних об'єктів, оскільки перехресні зв'язки між каналами при напівнатурному моделюванні з малими прискореннями не були істотними. Результати моделювання показали існування науково-технічної проблеми, яка виникає при спробі використати наявні напівнатурні стенди для моделювання такого руху, на який ці стенди не були розраховані. Найбільш простий спосіб вирішення науково-технічної проблеми – це виконати алгоритмічне доопрацювання системи управління приводів. Покажемо, як це можливо зробити.

Для усунення автоколивань вузла цілі, які виникають при моделюванні захисних маневрів мінідронів, виконана алгоритмічна модернізація стежачих приводів, що діють по осях рухливості гіпотетичного напівнатурного стенду. Алгоритмічна модернізація полягала в застосуванні алгоритму модального регулювання для корекції динамічних властивостей стежачих приводів.

Синтез модального регулятора був здійснений за наступною методикою:

1. Ідентифікована безперервна математична модель приводу вузла цілі гіпотетичного типового двоосного напівнатурного стенду у вигляді МІМО ЛТІ – моделі. Ідентифікація виконана з використанням паспортних даних цих двигунів постійного струму [4-7]. За результатами ідентифікації прийнято, що МІМО ЛТІ – моделі приводів по каналах OX і OY практично співпадають і описуються рівняннями в двомірному просторі станів

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A \cdot X(t) + B \cdot U(t); \\ Y(t) &= C \cdot X(t) + D \cdot U(t), \end{aligned}$$

де $X(t) = [x1(t); x2(t)]$, $x1(t) = i(t)$ – струм в ланцюзі якоря двигуна постійного струму, $x2(t) = w(t)$ – кутова швидкість обертання якоря; $U(t) = [u1(t); u2(t)]$, $u1(t)$ – сигнал, що управляє, який подається на незалежну обмотку збудження, $u2(t)$ – сигнал моделює дію перехресного зв'язку між каналами OX і OY ; $A = [-25 \ -7.5; 7.5 \ 0]$, $B = [5 \ 0; 0 \ -5]$, $C = [1 \ 0; 0 \ 1]$, $D = [0 \ 0; 0 \ 0]$.

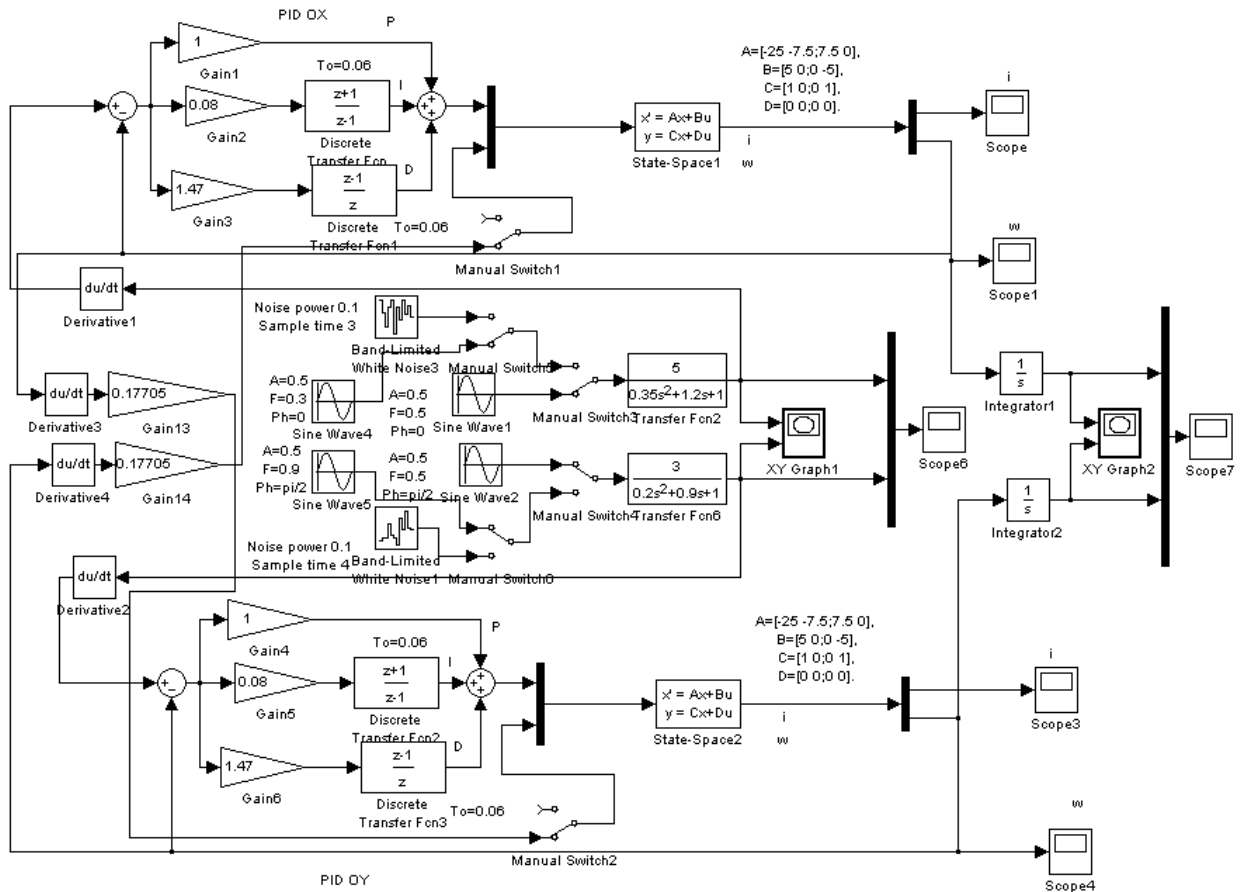


Рис. 3. Комп'ютерна математична модель руху вузла цілі гіпотетичного типового двовісного напівнатурного стенду, який призначений для випробування сенсорів охоронної інформаційно-керуючої системи

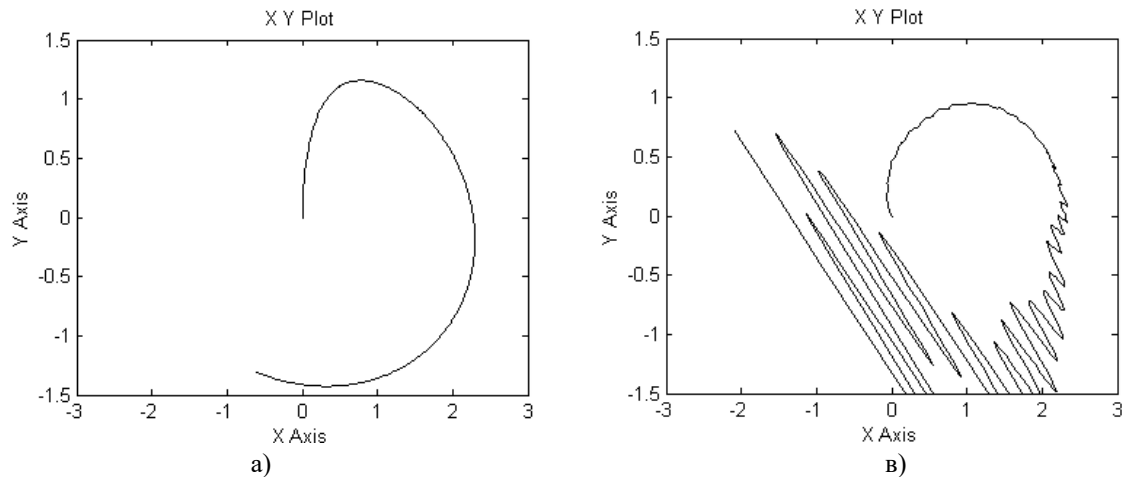


Рис. 4. Графічний образ еталонної траєкторії руху мінідрона «овал» (а) і результат відтворення цього руху гіпотетичним типовим двовісним напівнатурним стендом (в): положення перемикачів (рис. 1) P1 і P2 відповідно «вниз» і «вгору»

2. Аналітично обчислені параметри дискретної математичної моделі приводу. Для обчислень були використані функції системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink «ss» і «c2d». При цьому період квантування в часі T_0 був розрахований на

підставі слідуючих міркувань. Прийнято, що на вході аналогово-цифрових перетворювачів, які входять до складу цифрових вимірників струму в ланцюзі якоря і кутової швидкості обертання якоря двигунів постійного струму приводів каналів OX і OY,

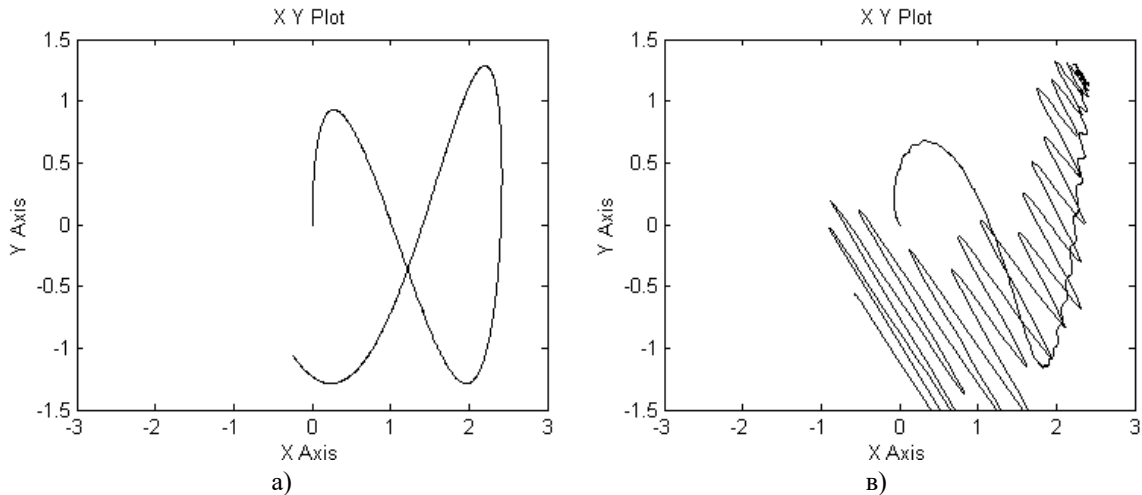


Рис. 5. Графічний образ еталонної траєкторії руху мінідрона «фігура Лісажу» (а) і результат відтворення цього руху гіпотетичним типовим двовісним напівнатурним стендом (в) : положення перемикачів (рис. 1) P1 і P2 відповідно «вгору» і «вниз», а P3 і P4 відповідно «вниз» і «вгору»

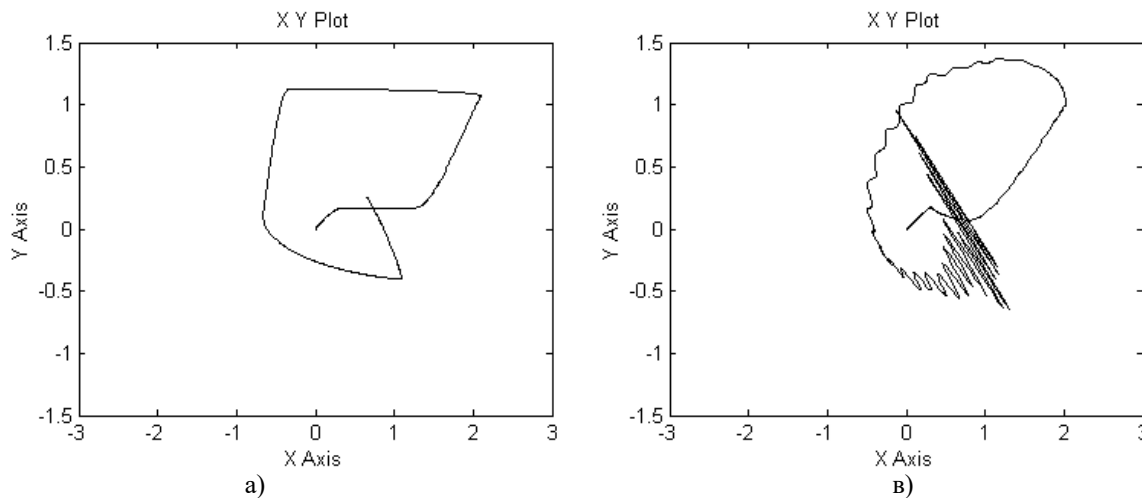


Рис. 6. Графічний образ еталонної траєкторії руху мінідрона «випадкове блукання» (а) і результат відтворення цього руху гіпотетичним типовим двовісним напівнатурним стендом (в): положення перемикачів (рис. 1) P1, P3 і P2, P4 відповідно «вгору» і «вниз»

діють фільтри низьких частот. Їх верхня гранична частота співпадає з верхньою граничною частотою корисного сигналу і рівна для типового приводу 51,4рад/с. По теоремі квантування знайдений період дискретизації за часом $T_0 \leq \pi / 51.4 = 0.0611c$. Було прийнято, що $T_0 = 0.06$ с.

Дискретна математична модель приводів каналів ОХ і ОУ має наступний вигляд

$$X(n+1) = A_d \cdot X(n) + B_d \cdot U(n);$$

де $Y(n) = C \cdot X(n) + D \cdot U(n),$

$$A_d = [0.1841 \quad -0.2256; 0.2256 \quad 0.9359],$$

$$B_d = [0.1504 \quad 0.04274; 0.04274 \quad -0.2928].$$

3. Виконаний розрахунок модального регулятора для корекції динамічних властивостей приводів каналів ОХ і ОУ [4]. Результати розрахунків дають значення матричних коефіцієнтів посилення Тонни, До, $\text{inv}(T \cdot B_d)$ відповідно для:

1) модальних аналізаторів Gain 7, Gain 10 $T = [-1.1860 \quad -0.3955; -0.3955 \quad -1.1860]$ (рис. 5).

Кожен модальний аналізатор перетворить вихідні сигнали цифрових датчиків відповідно струму якоря двигуна приводу і кутової швидкості цього якоря у віртуальні координати в двомірному просторі;

2) модальних регуляторів Gain 8, Gain 11

$K = [-0.2407 \quad 0; 0 \quad 0.3607]$ (рис. 5). Кожен модальний регулятор обчислює віртуальний вектор управління.

3) модальних синтезаторів Gain 9, Gain 12

$\text{inv}(T \cdot B_d) = [-5.7616 \quad 1.1356; -1.9215 \quad 3.4057]$ (рис. 5). Кожен модальний синтезатор обчислює реальний вектор управління.

Після підключення модального регулятора було виконано перенастроювання цифрового пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора в стежачій системі приводів каналів ОХ і ОУ за методикою Зіглера-Ніколса.

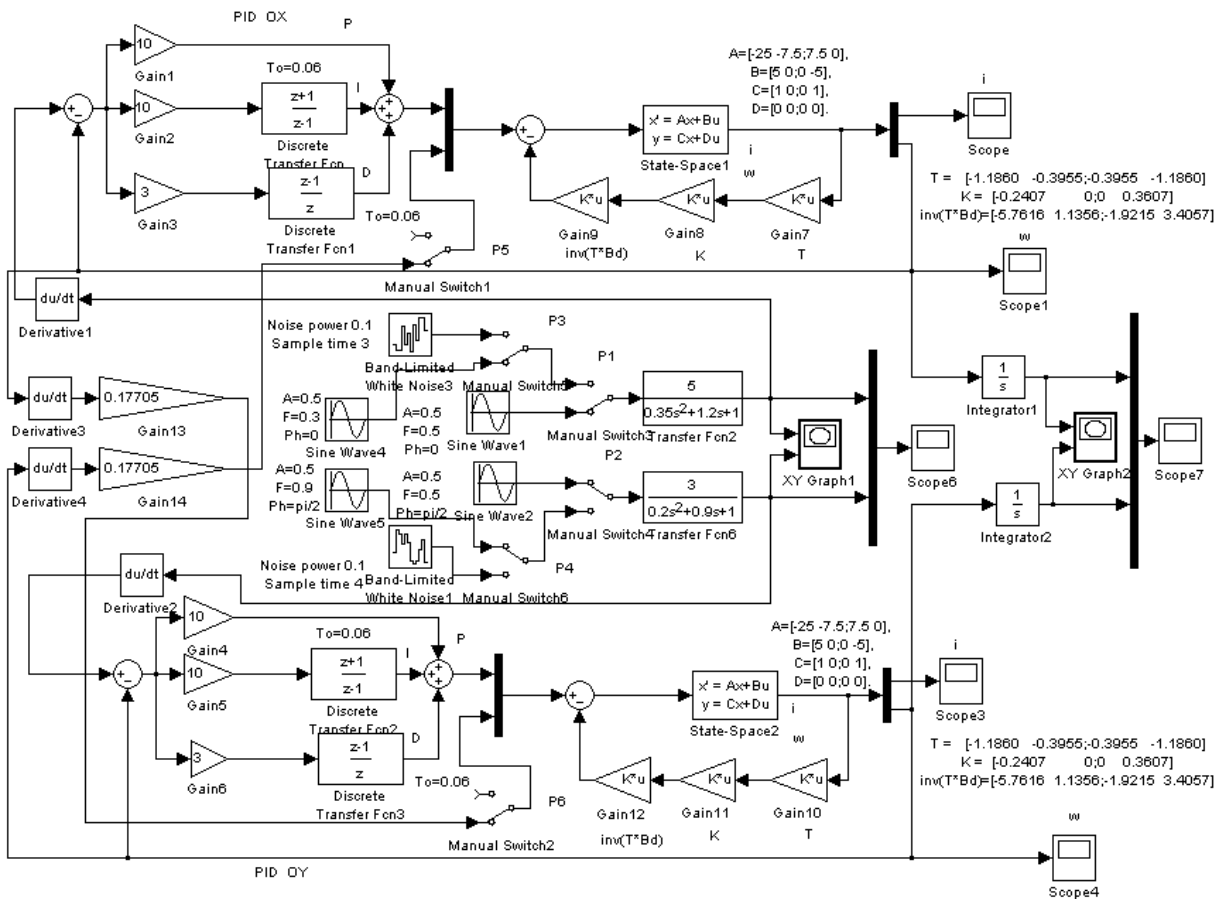


Рис. 7. Комп'ютерна математична модель руху вузла цілі гіпотетичного типового двовісного напівнатурного стенду, який призначений для випробування сенсорів охоронної інформаційно-керуючої системи

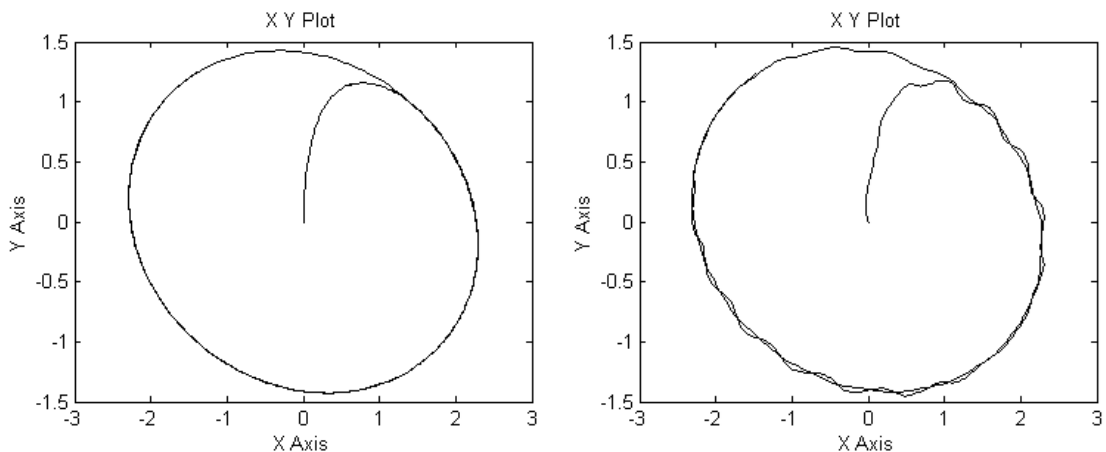


Рис. 8. Графічний образ еталонної траєкторії руху минидрона «овал» (а) і результат відтворення цього руху гіпотетичним типовим двовісним напівнатурним стендом (в): положення перемикачів (рис. 1) P1 і P2 відповідно «вниз» і «вгору»

Комп'ютерна математична модель і результати моделювання процесу функціонування модернізованого гіпотетичного типового двовісного напівнатурного стенду представлені відповідно на рис. 7, 8 (а, в), 9 (а, в) і 10 (а, б).

Висновки

1. Математичне моделювання руху вузла цілі, який віртуально наводився в рух гіпотетичним двовісним стендом напівнатурного випробування сенсорів охоронної інформаційно-керуючої сис-

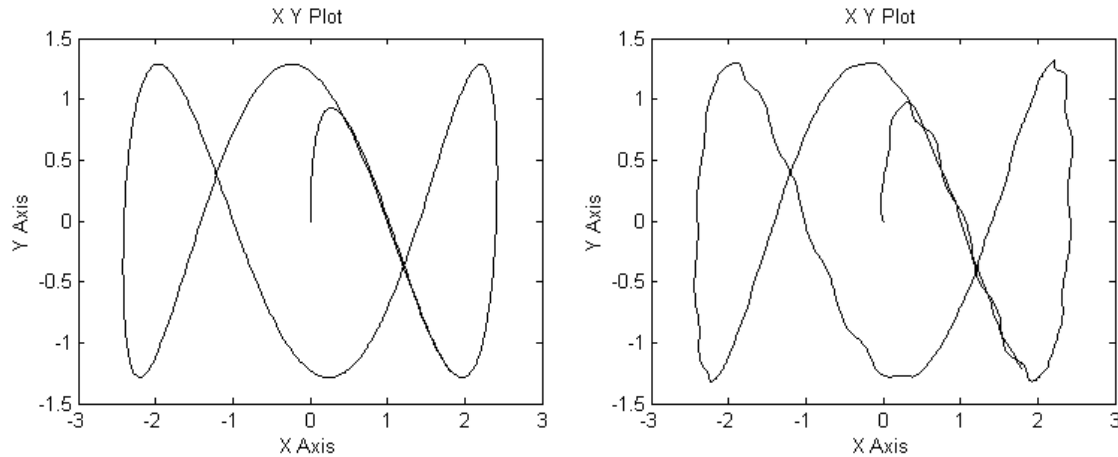


Рис. 9. Графічний образ еталонної траєкторії руху мінідрона «фігура Лісажу» (а) і результат відтворення цього руху гіпотетичним типовим двовісним напівнатурним стендом (в): положення перемикачів (рис. 1) P1 і P2 відповідно «вгору» і «вниз», а P3 і P4 відповідно «вниз» і «вгору»

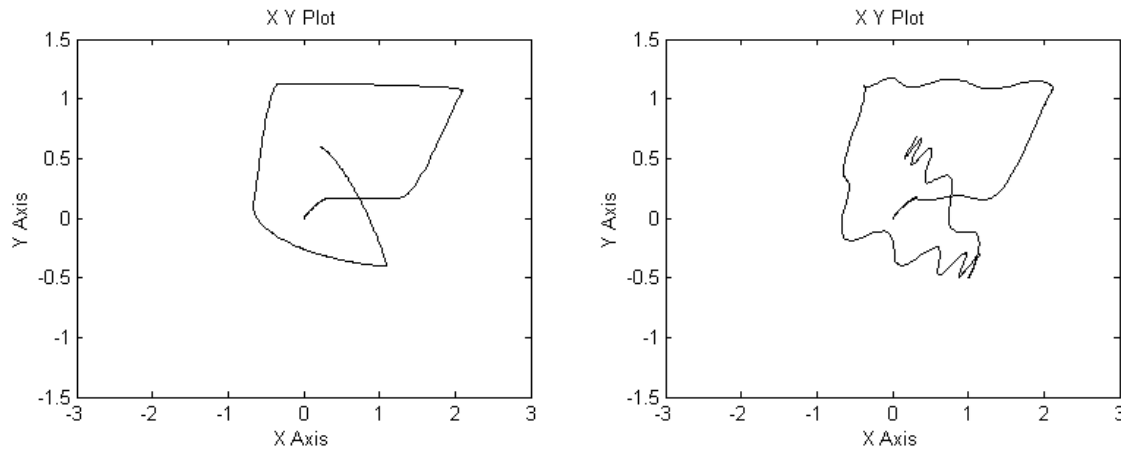


Рис. 10. Графічний образ еталонної траєкторії руху мінідрона «випадкове блукання» (а) і результат відтворення цього руху гіпотетичним типовим двовісним напівнатурним стендом (в): положення перемикачів (рис. 1) P1, P3 і P2, P4 відповідно «вгору» і «вниз»

теми дозволило: передбачити можливість виникнення автоколивань при моделюванні захисних маневрів мінідронів; підтвердити ефективність алгоритмічного способу модернізації стенду.

2. Для реалізації алгоритмічного способу модернізації стенду необхідно ідентифікувати: математичну модель руху каретки(вузла цілі) стенду напівнатурного моделювання з урахуванням перехресних зв'язків між каналами моделювання руху; математичну модель екстремальних маневрів руху мінідронів.

3. Запропонований в статті комплексний алгоритм роботи стежачих приводів складається з двох алгоритмів: алгоритму цифрового модального регулятора і алгоритму цифрового пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора. Перший алгоритм коригує динамічні властивості електричного двигуна, а другою забезпечує квазі-

адаптивність управління по відношенню до обурюючої дії перехресних зв'язків.

4. Стенди напівнатурного моделювання, модернізовані викладеним в статті алгоритмічним способом, можуть бути використані для випробувань вузлів стеження за окремими мінідронами або кластерами мінідронів(розподіленими дронами). Ці вузли стеження можуть знайти застосування в інформаційно-керуючих системах, з людиною оператором або штучним інтелектом-оператором(ШІО) в контурі дистанційного керування засобами інспекції і знищення цілей охоронної інформаційно-керуючої системи.

5. Напрямом подальших досліджень слід вважати побудову математичної моделі руху вузла цілі, який буде встановлений на каретку тривісного стенду напівнатурного випробування сенсорів охоронної інформаційно-керуючої системи.

Список літератури:

1. Романченко І.С., Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Данилюк С.Л., Новіков В.І., Тачиніна О.М., Кірчу П.І., Валуйський С.В. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях. – К.: НАУ, 2016. – 332 с. ISBN 978-966-932-011-7.
2. Лисенко О. І., Тачиніна О. М., Пономаренко С. О., Гуйда О. Г. Теорія оптимальних розгалужених траєкторій / О. І. Лисенко, О. М. Тачиніна, С. О. Пономаренко, О. Г. Гуйда – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського., 7БЦ, 2023. – 260 с. ISBN 978-617-549-163-8 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52094>
3. Tachinina, O., Lysenko, O., Alekseeva, I., Novikov, V.: Mathematical Modeling of Motion of Iron Bird Target Node of Security Data Management System Sensors. In: CEUR Workshop Proceedings, Vol-2711, 482-491. (2020). ISSN 1613-0073, Springer, (Scopus), <http://ceur-ws.org/Vol-2711/paper37.pdf>
4. HANDONG UNITWIN FELLOWSHIP (Republic of Korea). Course «Digital automatic control systems for information communications engineers», 14 Lectures. Spring 2020. <https://www.hufocw.org/Course/197>
5. O. Lysenko, O. Tachinina. Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles. Proceedings of the National Aviation University. –К.: NAU, 2020. –№ 2(83). – pp. 13-19. DOI: 10.18372/2306-1472.83.14629
6. Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Новіков В.І., Гуйда О.Г., Фуртат О.В., Юсипів Т.В. Спосіб налаштування цифрової системи керування положенням вісі чуттєвості мобільного сенсора. Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32 (71) № 5 2021. – С. 51-57. Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua. ISSN 2663-5941 (Print). ISSN 2663-595X (Online)
7. Tachinina O., Lysenko O., Nesterenko K., Zybin S., Alekseeva I. Tuning Methodology for Multi-circuit Digital Regulators of Robot Drives with Adjustable Dynamic Characteristics. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds). Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-Synergetic Engineering. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 367. P. 874 – 886. Springer, Cham. ISSN 2367-3370, ISSN 2367-3389 (electronic) ISBN 978-3-030-94258-8 ISBN 978-3-030-94259-5 (eBook) https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_67

Lysenko O.I., Tachinina O.M., Novikov V.I., Furtat O.V., Furtat S.O. THE METHOD OF ALGORITHMIC MODERNIZATION OF THE DRIVE CONTROL SYSTEM OF THE SEMI-NATURAL SIMULATION STAND OF MINIDRON MOTION

The article is devoted to the presentation of the results of mathematical modeling of the movement of the target node, which imitates a minidrone and is fixed on the carriage of a stand for semi-realistic testing of sensors of the security information and control system. It is shown that mathematical modeling made it possible to predict the possibility of self-oscillations when simulating protective maneuvers of minidrones and to confirm the effectiveness of the algorithmic method of modernizing the stand.

The results of the computer simulation of the stand show that with semi-realistic modeling of both deterministic and stochastic movement of the minidrone, self-oscillations and unstable mode of operation of a hypothetical typical two-axis semi-realistic stand are possible. These self-oscillations did not occur before in the simulation of the movement of inertial objects, since the cross-connections between the channels in the semi-natural simulation with small accelerations were not significant. The simulation results showed the existence of a scientific and technical problem that arises when trying to use the available semi-realistic stands to simulate the movement of maneuverable targets. In order to solve the scientific and technical problem, it is proposed to carry out an algorithmic refinement of the monitoring system of the drive control.

The complex algorithm of tracking drives proposed in the article consists of two algorithms: the digital modal controller algorithm and the digital proportional-integral-differential controller algorithm. The first algorithm adjusts the dynamic properties of the electric motor, and the second one provides quasi-adaptive control in relation to the disturbing action of cross connections.

Stands of semi-realistic modeling, modernized according to the algorithmic method described in the article, can be used for testing tracking nodes for individual minidrones or clusters of minidrones (distributed drones). These tracking nodes can be used in information management systems, with a human operator or an artificial intelligence operator (AIO) in the circuit of remote control means of inspection and destruction of security information management system targets. The direction of further research should be considered the construction of a mathematical model of the movement of the target node, which will be installed on the carriage of the three-axis stand of semi-natural testing of the sensors of the security information and control system.

Key words: *mathematical motion modeling, target node, semi-life test stand, sensor network, flying robots, drones, security information and control system.*