

С.І. Осадчий, проф., д-р. техн. наук, **Л.Г. Віхрова**, проф., канд. техн. наук, **В.М. Каліч**, проф., канд. тех. наук, **М.С. Мірошніченко**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vihrovalg@ukr.net, marymir@ukr.net

Інформаційна технологія проектування системи автоматичної стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну

В статті наведено нову методологію створення інформаційної технології проектування комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну. Окреслено характерні риси подібної методології. Це дозволяє здійснювати проектування систем керування технологічними процесами на комбайні з урахуванням зовнішніх впливів, які мають стохастичний характер. Обґрунтовано стадії створення інформаційної технології синтезу оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності.

стабілізація потоку хлібної маси, оптимальні системи, синтез систем, інформаційні технології, стадії досліджень

Постановка проблеми. За останні роки виявилась тенденція розвитку зернозбиральної техніки, яка полягає у її комп'ютеризації та роботі у складі системи точного землеробства, що дозволяє оптимізувати режими роботи зернозбиральної техніки за критеріями мінімуму втрат врожаю та максимуму продуктивності.

Результати досліджень науковців в галузі конструювання зернозбиральної техніки та створення систем стабілізації потоку хлібної маси у молотарці комбайну [1,2] показують, що максимізацію якості збору зернових доцільно виконувати шляхом створення оптимальних комбінованих систем стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки. Структура та параметри зазначених систем повинні визначатися з урахуванням моделей динаміки об'єкта стабілізації (поліноми M_1 , P_1 рис. 1.1), датчиків в колах зворотного зв'язку по відхиленню K_1 та у колі корекції по збуренню K_2 , збурень ψ_1 , ψ_2 та завад ϕ_1 , ϕ_2 , притаманних реальним експлуатаційним умовам функціонування комбайну, на основі сучасних ефективних методів автоматизованого проектування систем управління.

Концепція такого підходу до створення систем автоматичного керування полягає в тому [4, 6], щоб в результаті вирішення, так званої, задачі аналітичного конструювання ще до початку основного проектування системи оцінити граничні рубежі підвищення її якості, а також синтезувати оптимальну структуру, не лише параметри регулятора, а й визначити доцільність початку робіт, пов'язаних із створенням нової системи. При цьому основні матеріальні та часові витрати на проектування, виготовлення та випробування виробу виникають лише після прийняття позитивного рішення щодо доцільності та якості системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення особливостей процедур створення та конструкції сучасних існуючих систем стабілізації потоку хлібної маси за літературними джерелами [1,2] дозволяє виділити цілий ряд причин, які не дозволяють різко підвищити конкурентні можливості цієї сільськогосподарської техніки. По-перше,

диференційні рівняння зернозбирального комбайну не враховують динамічні властивості та конструктивні особливості гідротрансмісій, що функціонують у режимі постійної зміни навантажень. По-друге, традиційні підходи до визначення структури та параметрів, які застосовують для розробки систем керування технологічними процесами на комбайні, розраховані на дію лише регулярних зовнішніх впливів, в той час як реальні збурення та завади мають стохастичний характер. По-третє, існуючі методи синтезу оптимальних комбінованих систем стабілізації дозволяють успішно визначати структуру та параметри двоканального регулятора, якщо у системі є лише одне контрольоване джерело збурень на вході об'єкта стабілізації.

Постановка завдання. Для подолання виділених недоліків нами пропонується розповсюдити дію експериментально-аналітичного методу [4] розробки оптимальних систем стабілізації на випадок мінімізації коливань потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну шляхом розробки інформаційної технології синтезу оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності.

Виклад основного матеріалу. Такий експериментально-аналітичний підхід дозволяє різко скоротити витрати на створення системи автоматичного керування (стабілізації) за рахунок скорочення випробувально-налагоджувальних робіт, визначення можливих меж максимізації якості керування ще на етапі створення технічної пропозиції, формалізації процедур синтезу системи стабілізації та аналізу її якості, приведення остаточного проектування до реалізації оптимальних законів керування, які знайдені аналітично.

З іншого боку, успішне розповсюдження такого підходу до розв'язання задачі досягнення об'єктивно максимальної ефективності збору зернових за рахунок розробки та впровадження оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки вимагає [3,4,6]:

1. Формулювання задачі синтезу комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході в молотарку у термінах динамічного проектування [4,5] оптимальних систем стохастичної стабілізації динамічних об'єктів.

2. Наявності інформації про модель динаміки узагальненого об'єкта керування „кут нахилу шайби блоку циліндрів – потік хлібної маси на вході у молотарку”, у вигляді передаточної функції або диференційного рівняння, які відповідають роботі організаційно-технічної системи зернозбирального комбайну в реальних експлуатаційних умовах.

3. Моделей динаміки зміни збурень (рельєф поля, врожайність культури), які супроводжують процес збору зернових, та шумів вимірювання, які діють на виходах датчиків комбінованої системи стабілізації.

4. Наявності відповідним чином адаптованих до умов поставленої задачі алгоритмів визначення моделей динаміки об'єкта керування, датчиків вимірювальної інформації, збурень та завад, зазначених вище, синтезу оптимальних комбінованих систем стабілізації та аналізу їх якості в реальних умовах збирання врожаю зернових.

5. Програмно-технічних засобів автоматизованого проектування оптимальних систем керування зазначеного класу.

Враховуючи вимоги 1.-5., поставимо задачу синтезу оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної зі зворотнім зв'язком за відхиленням хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності (рис. 1) наступним чином.

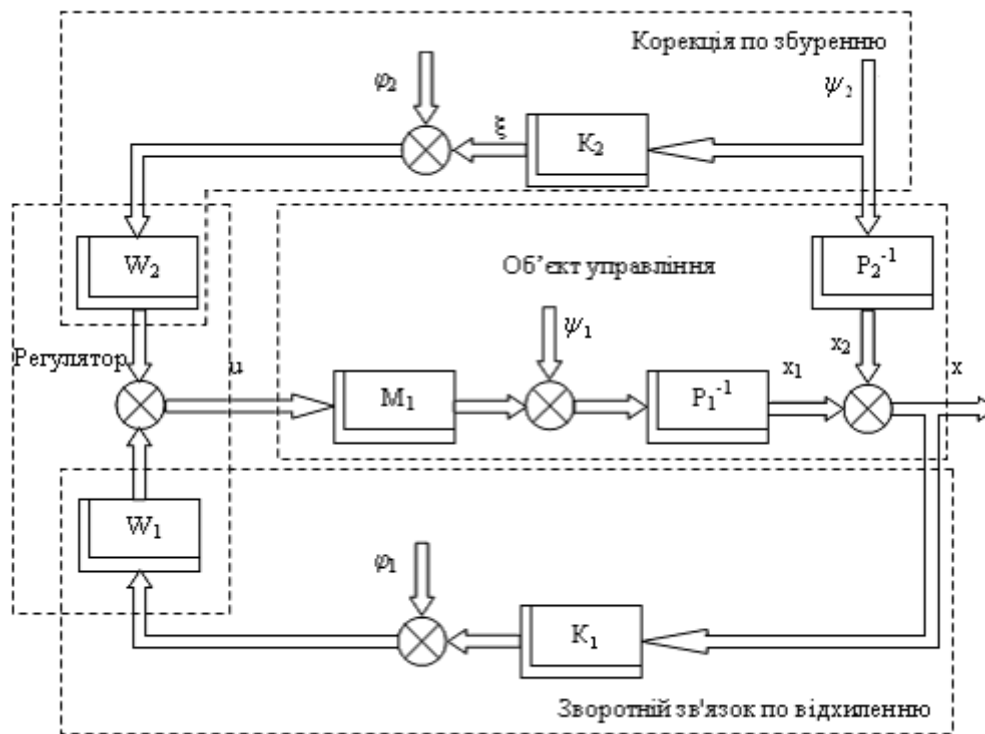


Рисунок 1 – Структурна схема комбінованої системи стабілізації

Джерело: [7]

Задано:

- склад комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки;
- необхідні геометричні параметри комбайну;
- динаміка датчиків потоку хлібної маси (матриця передаточних функцій K_1) та датчиків зміни врожайності (K_2);
- характеристики динаміки зміни шумів (похибок) на виході датчиків вектори φ_1 та φ_2 ;
- числові характеристики зміни рельєфу поля ψ_1 , як стаціонарного випадкового процесу;
- карта врожайності поля;
- диференціальне рівняння, яке зв'язує зміну обертового моменту на колесах комбайну зі зміною потоку зерна

$$\begin{cases} P_1 x_1 = M_1 u + \psi_1 \\ P_2 x_2 = \psi_2 \\ x = x_1 + x_2 \end{cases}, \quad (1)$$

де x, x_1, x_2 – n - вимірні вектори вихідних координат об'єкта керування;

u – m - вимірний вектор сигналів керування;

P_1, P_2 – поліноміальні матриці від оператора диференціювання $s=d/dt$ розміру $n \times n$, які визначають зміну вихідних координат об'єкта при зміні векторів збурень ψ_1, ψ_2 ;

M_1 – поліноміальна матриця від оператора диференціювання s розміру $n \times m$, яка характеризує чутливість об'єкта керування до зміни компонентів вектору u .

Необхідно визначити:

- спектральну щільність зміни врожайності (ψ_2) при русі комбайну з заданою середньою швидкістю;
- матриці P_1 , P_2 , M_1 системи диференціальних рівнянь (1) роботи узагальненого об'єкта керування „кут нахилу шайби блоку циліндрів – потік хлібної маси на вході у молотарку” в умовах збирання зернових;
- структуру та параметри матриць передаточних функцій регулятора W_1 , W_2 , увімкнення яких до кіл зворотного зв'язку та корекції забезпечує стійкість замкненої системи „об'єкт-регулятор” та мінімізує коливання потоку хлібної маси на вході до молотарки при обмежених ресурсах на керування в реальних умовах зміни врожайності, рельєфу поля та шумів вимірювання;
- ефект від застосування оптимальної комбінованої системи стабілізації та граничні можливості підвищення точності стабілізації при обмежених ресурсах на керування в реальних умовах зміни врожайності, рельєфу поля та шумів;
- алгоритм функціонування та склад мікропроцесорного регулятора оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки.
- застосування експериментально-аналітичного підходу до розв'язання поставленої задачі вимагає проведення цілого ряду різноманітних, але пов'язаних між собою стадій наукових досліджень (рис. 2), послідовність виконання яких визначає інформаційну технологію розв'язання поставленої задачі.

На стадії підготовки до виконання досліджень необхідно вивчити особливості конструкції сучасних зернозбиральних комбайнів та принципи створення моделей динаміки роботи системи переробки хлібної маси на зерно. Крім цього визначити, по можливості, моделі динаміки або особливості характеристик зміни факторів, які ускладнюють досягнення максимальної якості стабілізації потоку хлібної маси, та обґрунтувати вибір можливих способів автоматичної стабілізації такого потоку. Результати експериментальних досліджень, проведених нами [7] показали, що різкого підвищення якості стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки можливо досягти за рахунок використання комбінованого принципу стабілізації за відхиленням маси та за зміною врожайності. Однак, успішне застосування такого принципу для гарантованої мінімізації коливань потоку хлібної маси в реальних умовах збирання врожаю вимагає розробки нових методів, прийомів та засобів розробки оптимальних комбінованих систем стабілізації з корекцією за збуренням, діючим на їх виході.

На першій стадії досліджень на основі вивчення методів сучасної теорії керування та співставлення їх з відомостями про динаміку об'єкта керування, контрольованих та неконтрольованих збурень та завад вимірювання обґрунтувати вибір існуючих або розробити нові методи синтезу оптимальних структури та параметрів комбінованих систем стабілізації, розробити алгоритми аналізу якості таких двоконтурних замкнених систем, а також створити метод уточнення моделі динаміки узагальненого об'єкта керування „кут нахилу шайби блоку циліндрів – потік хлібної маси на вході у молотарку”.

Друга стадія досліджень (рис.2) завершує розробку методології проектування оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням та корекцією за збуренням. На даній стадії необхідно за отриманими методами визначення динаміки об'єкта керування, синтезу та аналізу оптимальних замкнених систем стабілізації у частотній області розробити: методiku визначення спектральної щільності коливань врожайності в напрямку руху зернозбирального комбайну; структурної ідентифікації передаточної функції гідротрансмісії та спектральної щільності збурень, які діють на неї при роботі у навантаженому режимі; технології дослідження якості синтезованої комбінованої системи; а також програмного

забезпечення операцій факторизації та сепарації дробово-раціональних функцій у системі інженерних розрахунків MATLAB.

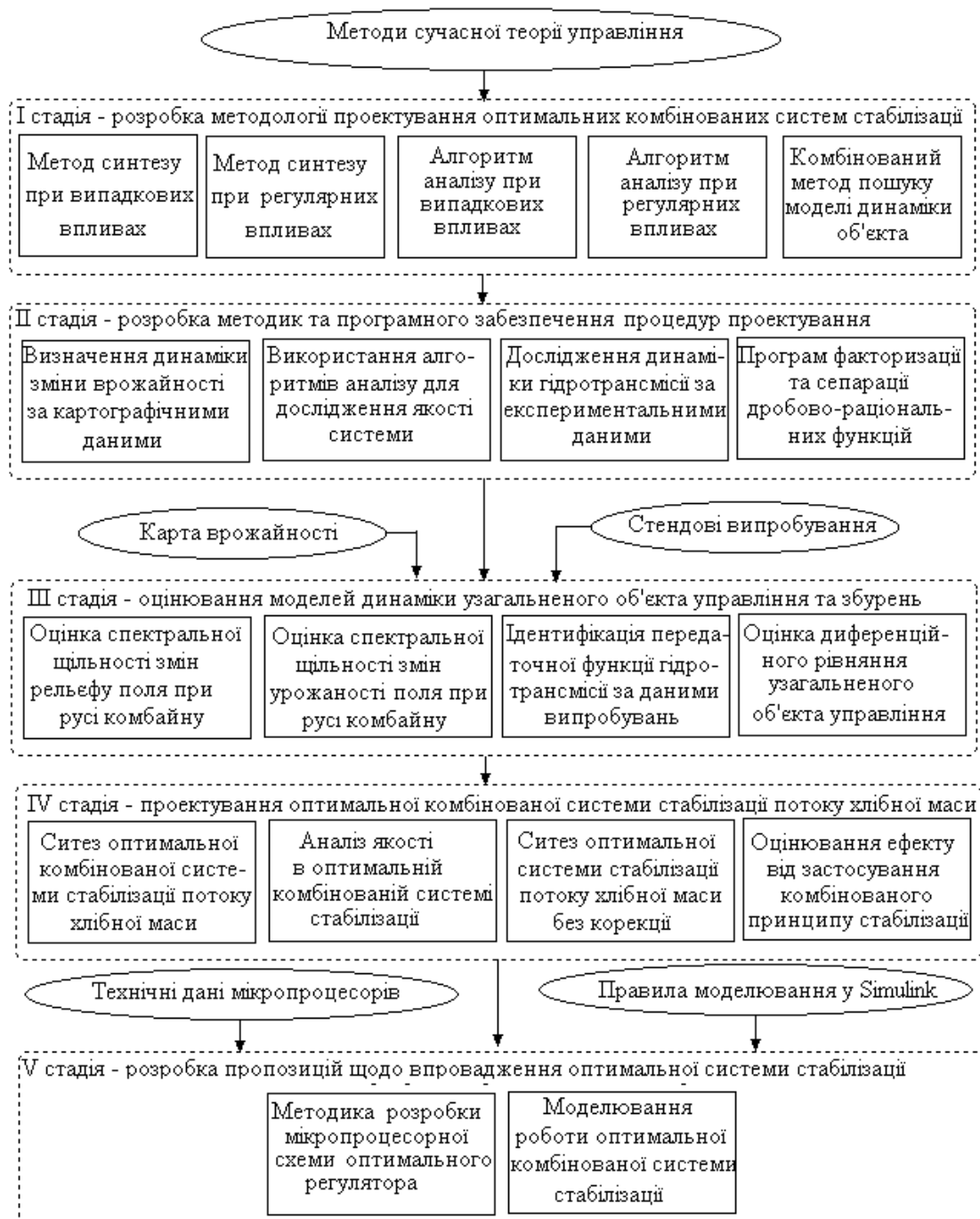


Рисунок 2 – Інформаційна технологія створення комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси

Джерело: [7]

Виконання третьої стадії досліджень присвячено оцінюванню моделей динаміки: узагальненого об'єкта керування та векторів контрольованих і неконтрольованих збурень, які діють в умовах руху зернозбирального комбайну по полю, рельєф якого та урожайність змінюються випадковим чином. Вихідні дані для цієї стадії складаються з карти врожайності поля, записів лабораторно-стендових випробувань гідротрансмісії,

відомих моделей динаміки повздовжнього руху комбайну, характеристик макронерівностей поля, які описуються системою рівнянь типу (1), метрологічних характеристик датчиків потоку хлібної маси і зміни урожайності. Методологічну основу складають відповідні алгоритми та методики їх застосування, визначені на стадіях I, II.

Призначення четвертої стадії досліджень полягає у визначенні структури та параметрів матриць передаточних функцій двоканального регулятора оптимальної комбінованої системи стабілізації і матриці передаточних функцій одноканального регулятора звичайної оптимальної системи стабілізації, які дозволяють оцінити ефект від застосування комбінованого принципу регулювання для досягнення мети дисертації. Вихідними даними для виконання даних досліджень є відповідні результати стадії III. В результаті синтезу комбінованої системи стабілізації при різному рівні середньої врожайності поля отримати номограми зміни параметрів матриці передаточних функцій оптимального.

Як видно зі схеми технології на рис.2, п'ята стадія досліджень складається з двох етапів. На цій стадії за передаточними функціями двоканального регулятора, тактико-технічними характеристиками мікропроцесорів різної архітектури та особливостями моделювання динаміки систем керування у середовищі SIMULINK необхідно розробити та застосувати методику розробки мікропроцесорної системи керування, яка реалізує матриці передаточних функцій двоканального регулятора, а також здійснити моделювання роботи синтезованої системи в умовах зміни середнього рівня врожайності.

Висновки. Таким чином, у статті обґрунтовано склад та визначено зміст стадій нової інформаційної технології проектування комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну.

Нова технологія має декілька відмінних рис. По – перше її впровадження дозволяє отримати диференціальні рівняння зернозбирального комбайну, які враховують динамічні властивості та конструктивні особливості гідротрансмисій, що функціонують у режимі постійної зміни навантажень.

По-друге, вона дозволяє проектувати системи керування технологічними процесами на комбайні, розраховані на дію зовнішніх впливів, які мають стохастичний характер.

По-третє, нова технологія дозволяє здійснити синтез оптимальної комбінованої систем стабілізації в умовах дії двох багатовимірних незалежних джерел збурень на вході та виході об'єкта стабілізації.

Список літератури

1. Сисолін П.В., Коваль С.М., Іваненко І.М. Машины для збирання зернових культур методом обчислення колосків. Кіровоград : КОД, 2010. 112 с.
2. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин: навч. посіб. / К.І. Шмат, П.В. Сисолін, В.В. Карманов, Г.І. Іванов. Херсон : Олді-плюс, 2004. 308 с.
3. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монография. К.: Книжное издательство НАУ, 2006. 440с.
4. Блохин Л.Н. Оптимальные системы стабилизации. К.: Техніка, 1982. 144 с.
5. Методи сучасної теорії управління: навч. посіб. / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Іващук. К. : НУХТ, 2010. 196 с.
6. Осадчий С.І. Автоматизація динамічного проектування оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2010. Вип. 40, ч. 1. С. 25-34.
7. Мірошніченко М.С. Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну. *Вестник национального технического университета «ХПИ»: сб. наук. прац. Тематический выпуск «Информатика и моделирование».* 2011. № 36. С. 48-51.

Referencis

1. Sysolin, P.V., Koval', S.M. & Ivanenko, I.M. (2010). *Mashyny dlia zbyrannia zernovykh kul'tur metodom obchisuvannia koloskiv* [Machines for harvesting grain by the method of combing spikelets]. Kirovohrad : KOD [in Ukrainian].
2. Shmat, K.I., Sysolin, P.V., Karmanov, V.V. & Ivanov, H.I. (2004). *Robochi protsesy i rozrakhunok sil'skohospodars'kykh mashyn* [Work processes and calculation of agricultural machinery] . Kherson : Oldi-plus [in Ukrainian].
3. Azarskov, V.N., Blokhyn, L.N. & Zhytetskyj, L.S. (2006). *Metodolohiya konstruyrovanyia optimal'nykh system stokhastycheskoj stabylyzatsiy* [Methodology of designing optimal stochastic stabilization systems] . Kyiv: Knyzhnoe yzdatel'stvo NAU [in Ukrainian].
4. Blokhyn, L.N. (1982). *Optymal'nye systemy stabylyzatsiy* [Optimal stabilization systems] . Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].
5. Ladaniuk, A.P., Kyshen'ko, V.D., Luts'ka, N.M. & Ivaschuk, V.V. (2010). *Metody suchasnoi teorii upravlinnia* [Methods of modern management theory]. Kyiv: NUKhT [in Ukrainian].
6. Osadchij, S.I. (2010). Avtomatyzatsiia dynamichnoho proektuvannia optimal'nykh bahatovymirnykh robastnykh system stokhastychnoi stabilizatsii [Automatic Dynamics Designing of the optimal multidimensional robust stochastic stabilizing systems for the mobile objects]. *Konstruivannja, vyrobnytvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Vol. 40, isse. 1* , 25-34. [in Ukrainian].
7. Miroshnichenko, M.S. (2011). Syntez optimal'noi systemy stabilizatsii potoku khlibnoi masy zernozbyral'noho kombajnu [Synthesis of the optimal grain weight stabilization system of the combine harvester]. *Vestnyk natsional'noho tekhnicheskoho unyversyteta «KhPY»: sb. nauk. prats'. Tematycheskyj vypusk «Ynformatyka y modelyrovanye» – Bulletin of the National Technical University "KhPI" A series of "Information and Modeling". 36*, 48-51. [in Ukrainian].

Sergiy Osadchij, Prof., DSc., **Larysa Vskhrova**, Prof., PhD tech. sci., **Viktor Kalich**, Prof., PhD tech. sci., **Mariia Miroshnichenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Information Technology of Designing the System of Automatic Stabilization of the Flow of Bread Mass at the Entrance to the Thresher of the Combine

The article presents a new methodology for creating information technology for the design of a combined system for stabilizing the flow of bread mass at the entrance to the combine thresher. The characteristic features of such a methodology are outlined.

This allows the design of process control systems on the combine, taking into account external influences that are stochastic in nature.

The stages of creation of information technology for the synthesis of the optimal combined stabilization system with feedback on the deviation of the bread weight from the average value and correction for changes in yield are substantiated.

The article substantiates the composition and determines the content of operations of the new information technology of designing a combined system of stabilization of the flow of bread mass at the entrance to the thresher of the combine.

The new technology has several distinctive features. First, its introduction allows to obtain differential equations of the combine harvester, which take into account the dynamic properties and design features of hydraulic transmissions operating in the mode of constant load change.

Secondly, it allows you to design process control systems on the combine, designed for external influences that are stochastic in nature.

Third, the new technology allows the synthesis of optimal combined stabilization systems under the conditions of two multidimensional independent sources of disturbance at the input and output of the stabilization object.

stabilization of grain mass flow, optimal systems, system synthesis, information technologies, research stages

Одержано (Received) 02.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022