

АНОТАЦІЯ

Максименко А. О. Комп'ютерно-інтегрована система управління піролізом відходами агротехнологій з визначенням складу синтез-газу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Державний університет «Одеська політехніка» МОН України, Одеса, 2021.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методів і моделей комп'ютерно-інтегрованого керування піролізною установкою, яка використовує відновлювальні джерела енергії – відходи агропромислового комплексу, а саме солому, за рахунок визначення складу соломи, що проходить процес піролізу в реальному часі.

У першому розділі «Розгляд стану автоматизованого керування піролізними установками» проведено:

– аналіз поточного стану агропромислового комплексу України, об'єму і енергетичного потенціалу відходів агротехнологій, порівняння різних способів енергетичної конверсії біомаси, наведені типові технологічні схеми піролізу рослинної біомаси, визначено основні способи керування процесом піролізу відходів агротехнологій, визначено подальший напрям досліджень. Визначено, що потенціал відходів агротехнологій в Україні – значний. Визначено напрями поточних досліджень при використанні комп'ютерно-інтегрованих систем керування для піролізу відходів агротехнологій, виявлено недоліки в існуючих підходах вирішення задачі автоматизованого керування, такі як нехтування інформацією про склад речовини, яка є сировиною для піролізу.

– обґрунтування структури і формулювання завдання дисертаційного дослідження, яке полягає у розробці методів і моделей комп'ютерно-інтегрованого управління піролізною установкою, що використовує відходи агротехнологій, а саме солому, з стабілізацією теплотворної здатності утвореного синтез-газу. Стабілізація теплотворної здатності утвореного синтез-газу в умовах збурень

хімічного складу соломи виконується за рахунок визначення змiну складу сировини, що проходить процес піролізу в реальному часі, обчислення і застосування відповідного компенсуючого впливу до піролізної установки.

– класифікацію культури, з якої походять відходи агропромислового походження умовною брутто-формулою, що уможливило виконання подальших обчислень з метою визначення найкращих для досягнення найвищої теплотворної здатності утвореного синтез-газу технологічних параметрів, насамперед температури. Класифікація умовною брутто-формулою була виконана шляхом розрахунку кількості вуглецю, кисню й водню заснованому на відомих формулах целюлози та інших добре вивчених складових рослинних культур.

У другому розділі «Побудова моделі піролізної установки як об'єкта керування» одержано такі результати:

– метод моделювання процесу піролізу та перетворення відходів агротехнологій в синтез-газ, модельним уявленням умовною брутто-формулою. Цей метод використовує закони хімічної кінетики, збереження речовини і балансу максимальних валентностей окислювальних і відновних елементів, що дало змогу розрахувати граничну теплотворну здатність сумішей органічних речовин;

– модель управління, яку засновано на пропорційному законі керування, яка дозволяє оцінити вплив регульованих параметрів на цільову величину – теплотворну здатність утвореного синтез-газу.

– модель нечіткої кластеризації та класифікації, засновану на використанні відомих методів і методик нечіткої кластеризації та класифікації, аналізі статистичних даних про чисельність і брутто-формули культур відходів агротехнологічного виробництва, яка дозволила обирати найкращі, для забезпечення найвищої теплотворної здатності утвореного синтез-газу технологічні параметри, у вигляді завдань для регуляторів.

– імітаційну модель процесу піролізу відходами агротехнологій як об'єкта керування у вигляді матриці передавальних функцій;

– модель процесу піролізу біомаси агротехнологічного походження, яка заснована на використанні законів хімічної кінетики, збереження речовини і

балансу максимальних валентностей окислювальних та відновних елементів, що була доповнена визначенням кількості вуглецевого залишку, що сумісно з подальше розвиненою моделлю класифікації дозволило визначити склад сировини;

– виявлено вплив збурення складу речовини, що проходить процес піролізу на властивості об'єкта управління.

В третьому розділі «Синтез системи керування піролізною установкою» виконано наступне:

– визначено найкращий метод вирішення задачі керування з урахуванням особливостей об'єкта керування, таких, як нелінійність теплотворної здатності утвореного синтез-газу і температурі в установці, неточність і неповнота інформації, а саме – нечіткого контролера на системі нечіткого вводу-виводу Мамдані.

– розроблено загальну структуру системи керування, що включає в себе піролізну установку, ізоентальпійний пристрій що використовується сумісно з екстремальним регулятором температури і обчислювальним пристроєм для визначення складу речовини, що проходить процес піролізу, видає завдання температури для регулятора, обчислює поточний показник коефіцієнту надлишку окиснювача;

– розроблено систему мутацій функцій приналежності, нечіткого регулятора, що забезпечує сталість якості керування за критеріями часу регулювання і помилки керування.

– виконано перевірку стійкості отриманої системи за критерієм умови Найквіста.

– виконано моделювання реакції теплотворної здатності утвореного синтез-газу на збурення стрибком складу відходів агропромислових технологій (брутто-формули соломи)

В четвертому розділі «Синтез комп'ютерно-інтегрованої системи управління піролізом відходів агротехнологій з визначенням складу синтез-газу» досягнуто мету дисертаційної роботи, а саме:

– розроблено метод визначення складу речовини, що проходить процес

піролізу за рахунок вирішення задачі, оберненої до моделювання процесу піролізу з використанням інформації про вуглецевий залишок, та утворений синтез-газ, і за допомогою допоміжного ізоентальпійного пристрою;

– визначено середнє і максимальне відхилення теплотворної здатності утвореного синтез газу за умов збурення складу соломи, що проходить процес піролізу

– встановлено, що на визначених межах збурення складу соломи, що проходить процес піролізу, середнє відхилення теплотворної здатності не перевищує 1.5%, а максимальне – 5 %, що задовольняє умові поставленій задачі

Ключові слова: АСУ, джерела відновлювальної енергії; ідентифікація віходів агротехнологій, синтез-газ, КІСУ, нечітка логіка, піроліз.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційного дослідження :

1. О. Brunetkin, М. V. Maksymov, А. Maksymenko, М.М. Maksymov (2019) Development of the unified model for identification of composition of products from incineration, gasification, and slow pyrolysis, *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, №4(6). С. 25-31(SCOPUS)

2. О. Brunetkin, Y. Dobrynin, А. Maksymenko, О. Maksymova, S. Alyokhina. Model and method of conditional formula determination of oxygen-containing hydrocarbon fuel in combustion (2020) *Energetika*. №6/8 (1). P. 77–84(SCOPUS)

3. О. Brunetkin, Y. Dobrynin, А. Maksymenko, О. Maksymova, S. Alyokhina. Inverse Problem Of The Composition Determination Of Combustion Products For Gaseous Hydrocarbon Fuel. (2020) *Computational Thermal Sciences: An International Journal*. P.477-489 (SCOPUS)

4. А. Maksymenko. Development of Control System for Waste Pyrolysis Unit of Agricultural Complex With the Application of Fuzzy Logic (2021) *Technology Audit and Production Reserves*, 4(2), P. 60.

5. M. Maksymov O. Brunetkin, A Maksymenko, O. Lysyuk. Mathematical model of determination of composition of mixture of hydrocarbonic acid-containing gases of combused fuel. (2019) *Вчені записки Таврійського університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 29 (68), С 77–84.

6. А. Максименко. Побудова на нечіткій логіці комп'ютерної системи автоматичного управління об'єктом, що має обмежені обчислювальні й енергетичні ресурси. (2016) *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу Києво-Могилянська академія. Серія: Комп'ютерні технології*, 287(285) С. 83-88.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. А. Максименко. Класифікація видів сільськогосподарських культур за умовною формулою для процесу піролізу. (2021) *Science, Theory and Practice Abstracts of International Scientific and Practical Conference*, Tokyo, Japan 2021 С.446-448

8. А. Maksymenko. Model of control for pyrolysis reactor for agricultural waste based on proportional control law. (2021) *Міжнародна науково-практична конференція «Наука, освіта, інновації та технології: стан, проблеми та перспективи розвитку». Збірник тез доповідей* (Полтава 2021)

9. А. Maksymenko. Model of straw composition fuzzy clusterization and classification for selection of best technological parameters for pyrolysis. (2021) *Science, Theory and Practice. Abstracts of International Scientific and Practical Conference*, Tokyo, Japan 2021

10. А. Maksymenko. Method of approximate analytical solution of nonstationary heat transfer problem through heat exchange surface. (2021) *Modern science: innovations and prospects. Proceedings of International scientific and practical conference. SSPG Publish*. Stockholm, Sweden. 2021. P. 21-27

ABSTRACT

Maksymenko A. Computer-integrated agrotechnology waste pyrolysis control system with gas synthesis composition identification. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 151 - automation and computer-integrated technologies. - Odesa Polytechnic State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2021.

The dissertation is dedicated to the improvement of methods and models of computer-integrated control of pyrolysis plant, which uses renewable energy sources - waste from the agro-industrial complex, straw in particular - by determining the composition of straw undergoing pyrolysis in real time.

In the first section "Consideration of the state of automated control of pyrolysis plants" were conducted:

- analysis of the current state of the agro-industrial complex of Ukraine, volume and energy potential of agricultural waste, comparison of different methods of energy conversion of biomass, typical technological schemes of biomass pyrolysis plant, the main methods to control the pyrolysis process of agricultural waste, further research direction identified. It is determined that the potential of agricultural waste in Ukraine is significant. The directions of current research in the use of computer-integrated control systems for pyrolysis of agricultural waste has been analyzed, shortcomings in existing approaches to solving the problem of automated control has been identified - such as neglect of information about the composition of the substance that is a raw material for pyrolysis.

- substantiation of the structure and formulation of the dissertation research task, which consists in the development of methods and models of computer-integrated control of pyrolysis plant that utilizes waste of agricultural technologies - straw in particular, with stabilization of calorific value of gas synthesis. Stabilization of the calorific value of the formed synthesis gas in the conditions of perturbations of the chemical composition of straw is performed by determining the change in the composition of raw materials undergoing pyrolysis in real time, calculating and applying the appropriate compensating

effect to the pyrolysis plant.

- classification of the crop from which the waste of agro-industrial origin originates by the conditional brutto formula, which allowed further calculations to determine the best technological parameters to achieve the highest calorific value of the formed synthesis gas, especially temperature. Classification by conditional brutto formula was performed by calculating the amount of carbon, oxygen and hydrogen based on known formulas of cellulose and other well-studied components of crops.

The following results are obtained in the second section "Designing a model of a pyrolysis plant as a control object":

- method of modeling the process of pyrolysis and conversion of agricultural waste into synthesis gas, model representation of the conditional brutto formula. This method uses the laws of chemical kinetics, conservation of matter and the balance of maximum valences of oxidizing and reducing elements, which allowed to calculate the maximum calorific value of mixtures of organic substances;

- control model, which is based on the proportional control law, which allows to assess the impact of adjustable parameters on the target value - the calorific value of the formed synthesis gas.

- fuzzy clustering and classification model based on the use of known methods and techniques of fuzzy clustering and classification, analysis of statistical data on the number and gross formula of crops of agro-technological waste, which allowed to choose the best to ensure the highest calorific value of synthesis gas in the form of tasks for regulators.

- simulation model of the process of pyrolysis of agricultural waste as an object of management in the form of a matrix of transfer functions;

- model of the pyrolysis process of biomass of agro-technological origin, which is based on the use of the laws of chemical kinetics, conservation and balance of maximum valences of oxidizing and reducing elements, which was supplemented by determining the amount of carbon residue.;

- the influence of perturbation of the composition of the substance undergoing the pyrolysis process on the properties of the object of control is revealed.

In the third section "Synthesis of the pyrolysis control system" the following is performed:

- the best method of solving the control problem is determined taking into account the features of the control object, such as nonlinearity of calorific value of the formed synthesis gas and installation temperature, inaccuracy and incomplete information, namely fuzzy controller on Mamdani fuzzy I/O system;
- developed a general structure of the control system, which includes a pyrolysis unit, isoenthalpy device used in conjunction with an extreme temperature controller and a computing device to determine the composition of the substance undergoing pyrolysis, gives a temperature task for the controller.
- developed a system of mutations of membership functions, fuzzy controller, which ensures consistency of control quality according to the criteria of control time and control error.
- the stability of the obtained system was checked according to the Nyquist condition criterion.
- modeling of the reaction of calorific value of the formed synthesis gas to the perturbation of the aggregate waste of agro-industrial technologies (gross straw formula)

In the fourth section "Synthesis of computer-integrated pyrolysis management system of agricultural waste with determination of the composition of synthesis gas" the purpose of the dissertation is achieved, namely:

- developed a method for determining the composition of the substance undergoing the pyrolysis process by solving the problem of modeling the pyrolysis process using information about the carbon residue, and the formed synthesis gas, and using an auxiliary isoenthalpy device;
- determined the average and maximum deviation of the calorific value of the formed synthesis gas under conditions of perturbation of the straw composition, which undergoes the process of pyrolysis
- established that at certain limits of perturbation of straw composition undergoing pyrolysis process, the average deviation of calorific value does not exceed 1.5%, and the maximum - 5%, which satisfies the condition of the task.

Keywords: ACS, renewable energy sources; identification of agrotechnology waste, synthesis-gas, CISC, fuzzy logic, pyrolysis.

LIST OF PUBLICATIONS

Scientific works in which the main results of the dissertation research are published:

1. O. Brunetkin, M. V. Maksymov, A. Maksymenko, M.M Maksymov Development of the unified model for identification of composition of products from incineration, gasification, and slow pyrolysis. (2019) *Eastern-european journal of advanced technologies*, №4(6). C. 25-31(SCOPUS)

2. O. Brunetkin, Y. Dobrynin, A. Maksymenko, O. Maksymova, S. Alyokhina. Model and method of conditional formula determination of oxygen-containing hydrocarbon fuel in combustion.(2020) *Energetika*. №6/8 (1). P. 77–84(SCOPUS)

3. O. Brunetkin, Y. Dobrynin, A. Maksymenko, O. Maksymova, S. Alyokhina. Inverse Problem Of The Composition Determination Of Combustion Products For Gaseous Hydrocarbon Fuel. (2020) *Computational Thermal Sciences: An International Journal*. P.477-489 (SCOPUS)

4. A. Maksymenko. Development of Control System for Waste Pyrolysis Unit of Agricultural Complex With the Application of Fuzzy Logic. (2020) *Technology Audit and Production Reserves*, 4(2), P. 60.

5. M. Maksymov O. Brunetkin, A Maksymenko, O. Lysyuk. Mathematical model of determination of composition of mixture of hydrocarbonic acid-containing gases of combused fuel. (2019) *Scientific notes of Tavriya University named after V.I. Vernadsky. Series: Technical Sciences*, 29 (68), P 77–84.

6. A. Maksymenko. Building on the fuzzy logic of a computer system for automatic control of an object that has limited computing and energy resources. (2016) *Scientific works of the Petro Mohyla Black Sea State University of the Kyivo-Mohylanska Academy complex. Series: Computer Technology*, 287(285) P. 83-88.

Published approbation works:

7. A. Maksymenko. Classification of crop species according to the conditional formula for the pyrolysis process. (2021) *Science, Theory and Practice Abstracts of International Scientific and Practical Conference*, Tokyo, Japan 2021 C.446-448
8. A. Maksymenko. Model of control for pyrolysis reactor for agricultural waste based on proportional control law. (2021) *International scientific-practical conference «Science, education, innovation and technology: state, problems and prospects of development»*. Collection of abstracts, Poltava 2021
9. A. Maksymenko. Model of straw composition fuzzy clusterization and classification for selection of best technological parameters for pyrolysis. (2021) *Science, Theory and Practice. Abstracts of International Scientific and Practical Conference*, Tokyo, Japan 2021
10. A. Maksymenko. Method of approximate analytical solution of nonstationary heat transfer problem through heat exchange surface. (2021) *Modern science: innovations and prospects. Proceedings of International scientific and practical conference*. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2021. P. 21-27