

9. Шпак Е.В., Явор С.Я., Савин О.Р., Кузема А.С. Триплет из электростатических квадрупольно-октупольных линз нового типа со скорректированной сферической абберацией // Журнал техн. физ. – 1969. – Т.39, №9. – С.1720-1723.

10. Кузема А.С., Соловьева А.Е. Исследования влияния параметров ионного пучка на характеристики призмного масс-спектрометра с неоднородным магнитным полем. Вісник СНАУ 1(17), серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» - 2008, С. 156-160.

11. Кузема А.С., Погребняк А.Д., Кузема П.А. Влияние режимов работы источника ионов на характеристики призмного масс-спектрометра с неоднородным магнитным полем. Вісник СНАУ 2(1), серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» - 2010, С. 69-73.

#### **Кузема А.С., Кузема П.А. ПРИЗМОВЫЙ МАГНИТНЫЙ МАСС-АНАЛИЗАТОР С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ ИОНОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ**

*Исследованы методика и результаты теоретических и экспериментальных исследований ионно-оптических свойств и характеристик призмных магнитных масс-спектрометров с электрической фокусировкой ионов по направлению. Показано, что в таком приборе качество фокусировки ионного пучка может быть улучшено за счет использования многолинзовых электростатических систем со скорректированной сферической абберацией.*

**Ключевые слова:** ионный пучок, масс-анализатор, магнитная призма, электростатическая линза.

#### **O.S. Kuzema, P.O. Kuzema PRISM MAGNETIC MASS ANALYZER WITH ELECTRICAL ION FOCUSING BY THE DIRECTION**

*Recently in mass-spectrometry has formed a new direction associated with using sector prize inhomogeneous magnetic fields with axial symmetry (r-1) [1-4]. In published on the subject of the work identified ways to focus ions in the direction of their movement in such fields and describes the technical solutions implemented in modern mass spectrometer with inhomogeneous magnetic fields. It is shown that in prize magnetic analyzer, focusing ion direction can be achieved in several ways: by using curved boundaries of the magnetic prism [4], by use of an additional homogeneous magnetic field [5] or through the use of electrostatic focusing system in the case when the boundaries of the magnetic prism direct [6].*

*During the consideration of the physic-technical characteristics of the mass of the electrons with the inhomogeneous axially symmetric magnetic field it is evident that to focus ions in the direction they use mostly focusing magnetic prisms with straight borders which the methods focus, forming the basis of the principle of their operation, have the following disadvantages. Ion-optical properties of mass analyzers o this field is quite sensitive to small deviations of the field from the set, resulting in parsing fields in such devices are implemented using pole pieces and electrodes complex profile, sinks manufacture which is a difficult practical task. A significant impact on the characteristics of prizm and workmanship of the ion-optical system. When the selected geometry of the magnetic field of the prism is missing the possibility of changing the dispersion of the ion-optical system and the main characteristics of the device.*

*These disadvantages can be eliminated if the focus of ions in the direction of carry not magnetic, and electric field. In this case, the function of separating ions by their masses and focus them to be undertaken by different elements: a magnetic field are separated in the direction of the ion beam according to mass and electric field them for directions. The practical test of such a device is shown that their analytical parameters it surpasses the devices of the same class.*

**Key words:** ion beam, mass analyzer, magnetic prism, electrostatic lens.

Стаття надійшла в редакцію: 01.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кундера Ч.

УДК 620.92-661.152.32

#### **НОВИЙ СПОСІБ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СУШІННІ ТА ГРАНУЛЯЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ**

**А. М. Павлюченко**, д.т.н., професор,

**В. В. Шелудченко**, к.т.н., доцент

Сумський національний аграрний університет.

*Винайдений, та запропонований новий тригенераційний, термодинамічно досконалий, енергоефективний, наукоємний, екологічно чистий, з високим ККД спосіб сушіння та грануляції мінеральних добрив з використанням технологічного процесу відновлювальних джерел енергії (вітрової та сонячної). У запропонованому способі повністю виключається використання природного газу та інших видів палива з повним енергозбереженням.*

**Ключові слова:** мінеральні добрива, сушіння та грануляція, відновлювальні джерела енергії,

енергозбереження.

**Постановка проблеми.** При виробництві багатьох мінеральних добрив переробка сировини здійснюється при знаходженні в ній значної кількості вільної води. Основна частина добрив поставляється споживачу в порошкоподібному або в гранульованому вигляді і однією з найважливіших завершальних стадій технології є процес сушіння.

Сушку переважно проводять при використанні сушильних газів. У великомасштабних сушильних агрегатах існує варіант комплексів підготовки сушильних газів і виконання процесу сушіння і грануляції мінеральних добрив. Зокрема реалізовано відомий комплекс, в якому сушильні гази продукуються шляхом згорання газоподібного палива, наприклад природного газу, при оптимальній витраті первинного повітря, змішування гарячих продуктів згорання з холодним атмосферним повітрям і направлення газової суміші на стадію сушки [1].

Процес сушіння і грануляції мінеральних добрив є складним тепловим і термодинамічним процесом і потребує удосконалення для ефективного використання енергетичного потенціалу (ексергії) палива на основі сучасних науково-технічних досягнень.

Найбільш близьким за термодинамічною та технічною сутністю, досягнутому результату і прийнятому за прототип є спосіб підготовки сушильних газів за когенераційним принципом використання енергетичного потенціалу палива на основі введення в технологію газотурбінної установки (ГТУ) для виробництва в результаті згорання газоподібного палива тепла сушильних газів після газової турбіни та додатково електроенергії в електрогенераторі ГТУ. [2] Це є енергозберігаюча технологія високого рівня.

Одним із недоліків проаналізованих та досліджених способів сушіння та грануляції є те, що в ньому не повністю використовується енергетичний потенціал палива (його ексергія) в зв'язку з тим, що реалізується тільки принцип когенерації для виробництва тепла та електричної енергії в технології сушіння та грануляції мінерального добрива; газотурбінна установка має високу фінансову вартість, що впливає на термін окупності такої технології за когенераційною схемою. Виникає необхідність забезпечення газотурбінної установки природним газом, не використовується енергетичний потенціал відпрацьованих газів після процесу сушіння і грануляції, а коефіцієнт корисної дії (ККД) ГТУ не перевищує 30%.

**Мета дослідження.** В основу дослідження поставлена задача винайти та реалізувати новий енергозберігаючий тригенераційний спосіб сушіння і грануляції мінеральних добрив з використанням альтернативних відновлювальних джерел енергії для виробництва тепла сушильного агента, електроенергії та холоду, для значного

зниження енергетичних витрат на технологічний процес, для підвищення термодинамічної та енергетичної ефективності, а також коефіцієнта корисної дії (ККД).

**Виклад основного матеріалу.** Поставлена задача вирішується тим, що в запропоновану технологію на відміну від прототипу [2] з газотурбінною установкою (ГТУ) по-перше вводиться вітроенергетична установка (ВЕУ), електростанція на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) для виробництва електроенергії та сонячні колектори (СК) для нагріву повітря, що використовується в сушарці для сушіння та грануляції мінеральних добрив, по-друге, в технологію вводиться холодильна машина, наприклад бромистолітієва (АБХМ), шляхом використання відпрацьованих газів при температурі 90°C для виробництва холоду при температурі 7±10°C для охолодження повітря або води.

Вітроенергетика та сонячна енергетика відносяться до альтернативних видів енергетики з використанням поновлювальних енергетичних ресурсів вітру та сонячного випромінювання.

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) для виробництва електроенергії широко використовуються в таких країнах як Нідерланди, Швеція, Німеччина, Великобританія, США, Китай, Австралія, а також в деяких регіонах України. Вітроенергетичні установки працюють надійно, практично в автоматичному режимі. Мінімальна швидкість вітру для роботи ВЕУ дорівнює 5 м/с, а максимальна не більше 24 м/с. Найбільше поширення отримали ВЕУ з трьома лопатями з горизонтальним компонованням вітродвигуна та електрогенератору. Коефіцієнт використання енергії вітру знаходиться в межах 0,35÷0,5. Цей коефіцієнт обмежується верхнім значенням коефіцієнта Бетца, який дорівнює 0,59.

Сонячна енергетика розвинута успішно в Мексиці, Бразилії, США, Китаї, Європі. Працюють сонячні електростанції на основі сонячних фотоелектричних панелів, а також сонячних колекторів. Сонячні колектори широко використовуються для нагріву теплоносіїв (води, повітря тощо). Різноманітні варіанти сонячних колекторів та сонячних фотоелектричних панелів приведені наприклад в [3].

Сонячні колектори відносно прості конструктивно, можуть бути використані для нагріву атмосферного повітря до температури 750°C, як робочого тіла, наприклад в газотурбінній установці, яка працює за відкритим циклом Брайтона з використанням зконцентрованого сонячного випромінювання. До теперішнього часу розроблені різноманітні схеми сонячних колекторів і методи їх розрахунку.

Повітря, нагріте в групі сонячних колекторів до температури 500-600°C, може бути використане для сушіння і грануляції мінеральних до-

бтив, наприклад амофосу.

В технологічному комплексі в запропонованому варіанті, що включає вітроенергетичну установку, фотоелектричні перетворювачі та сонячні колектори, не використовуються ніякі види палива, відсутні шкідливі викиди в атмосферу, які мають місце при згоранні різних палив, надійні в роботі, реалізується високий рівень автоматизації, має місце високий ККД, достатньо швидкий термін окупності попередніх фінансових і матеріальних затрат в декілька років з одержанням далі чистого прибутку за рахунок відсутності використання різних видів палива, різкого зниження питомих витрат енергії на сушіння і грануляцію мінеральних добрив.

Вітроенергетичні установки та сонячні колектори можуть працювати як самостійно, так і в паралельній схемі. Якщо швидкість вітру достатня для забезпечення необхідної електричної потужності ВЕУ, то сонячні колектори для підігріву повітря доцільно використовувати в частковому режимі експлуатації з меншими витратами повітря, необхідними для різних технологічних цілей.

При стабільному потоці сонячної енергії в основному працюватимуть сонячні колектори, а ВЕУ буде генерувати електроенергію, яку можна використати для електропостачання і для генерації тепла, наприклад для сушіння.

ВЕУ може також ефективно працювати з електростанцією на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), в яких використовуються напівпровідники із монокристалу кремнію, арсеніду галію та ін. з ККД 16÷20%. Фотоелектричний перетворювач ФЕП є ефективним перетворювачем енергії квантів сонячного світла (фотонів) в енергію електричного струму. В 2006р. в Німеччині введена в експлуатацію фотоелектрична станція потужністю 10 МВт.

Електричний струм, одержаний на фотоелектричних станціях, в патенті на корисну модель пропонується використати для нагріву атмосферного повітря до температури сушіння та грануляції мінеральних добрив (500÷600°C) так, як і в разі використання електроенергії ВЕУ.

Застосування електроенергії, що генерується у вітроенергетичній установці та в фотоелектричних системах, чи сонячних колекторах для нагріву повітря для сушіння і грануляції мінеральних добрив дозволяє створити в значній мірі екологічно чисту, термодинамічно і економічно ефективну технологію сушіння та грануляції мінеральних добрив різних видів.

Електрична енергія з термодинамічної точки зору є енергія найвищої якості і може бути ефективно перетворена в інші види енергії (теплову, механічну тощо). В патенті на корисну мо-

дель електрична та сонячна енергія перетворюється в тепло повітря для сушіння і грануляції мінеральних добрив.

Після сушіння і грануляції мінеральних добрив вихідне повітря має температуру приблизно 90°C [4], що дозволяє застосувати бромистолітєву холодильну машину (АБХМ) для охолодження сушильного повітря до температури 7÷10°C. Охолоджене повітря використовується для охолодження гранульованого добрива та для технологічних цілей. Це підвищує термодинамічну і економічну ефективність технології.

Таким чином, в запропонованому способі реалізується енергозберігаюча технологія сушіння і грануляції мінеральних добрив по тригенераційній схемі з виробництвом електроенергії, тепла і холоду без використання природного газу та інших видів палива.

Запропонована ресурсозберігаюча та енергозберігаюча тригенераційна технологічна схема сушіння зерна базується на використанні поновлюваних джерел енергії, є наукоємною і має перспективи для практичного втілення в хімічну промисловість, наприклад в акціонерне товариство «Сумхімпром».

На основі запропонованого способу можливо досить швидко створити нові установки по сушінню і грануляції мінеральних добрив в значних масштабах, а також відкривається можливість модернізувати діючі енергозатратні і ресурсозатратні технології цього напрямку.

На рис.1 наведена комбінована тригенераційна технологія сушіння та грануляції добрив на основі виробництва електроенергії у вітроенергетичній установці (ВЕУ) з подальшим використанням її для підігріву атмосферного повітря в електронагрівнику до 150÷180°C для сушіння і охолодження відпрацьованого повітря; і на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) для виробництва електроенергії і використання її для нагріву атмосферного повітря в електронагрівнику і охолодження відпрацьованого повітря у бромистолітєвій або водоаміачній холодильних машинах.

Комбінована тригенераційна технологія сушіння та грануляції мінеральних добрив по схемі рис.1 включає вітроенергетичну установку 1 з вітродвигуном 2; муфтою 3; електрогенератором 4; електронагрівник атмосферного повітря (теплоносія) 5; барабанну гранулятор-сушилку (БГС) 6; бромистолітєву холодильну машину АБХМ 7; водоаміачну холодильну машину ВАХМ 8; інвертор 9 для перетворення сталого струму у змінний; сонячні фотоелектричні перетворювачі 10.

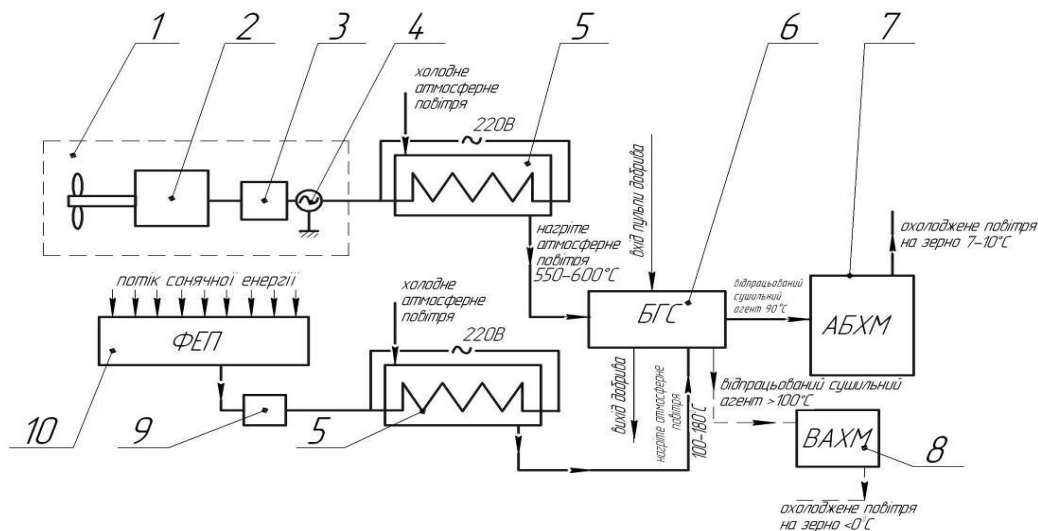


Рис.1 Комбінована тригенераційна технологія сушіння та грануляції мінеральних добрив з використанням фотоелектричних перетворювачів (ФЕП):

- 1 – вітроенергетична установка (ВЕУ); 2 – вітродвигун; 3 – муфта; 4 – електрогенератор;  
 5 – електронагрівник сушильного агента (атмосферного повітря); 6 – барабанна гранулятор сушилка (БГС);  
 7 – бромистолітєва холодильна машина (АБХМ); 8 – водоаміачна холодильна машина (ВАХМ);  
 9 – інвертор; 10 – фотоелектричні панелі (ФЕП).

Технологія сушіння і грануляції мінерального добрива по тригенераційному принципу за рис.1 працює наступним чином. Електроенергія змінного струму генерується в електрогенераторі 4 вітроенергетичної установки 1, а також у фотоелектричних перетворювачах 10; далі електроенергія надходить до електронагрівника 5 для підігріву в якості сушильного агента атмосферного повітря до  $550\div 600^{\circ}\text{C}$  (або  $100-180^{\circ}\text{C}$  по іншій схемі), яке спрямовується в барабанну гранулятор-сушилку (БГС) 6. Після БГС 6 відпрацьований сушильний агент (повітря) при температурі в межах  $90^{\circ}\text{C}$  направляється в бромистолітєву холодильну машину (АБХМ) 7 для охолодження його до температури  $7\div 10^{\circ}\text{C}$ . Якщо температура відпрацьованого повітря більше  $100^{\circ}\text{C}$  після БГС

6, тоді воно направляється для охолодження до температури нижче  $0^{\circ}\text{C}$  до водоаміачної холодильної машини ВАХМ 8. Охоложене повітря використовується для охолодження мінерального добрива після сушіння і грануляції, а також на технологічні цілі.

На рис.2 наведена комбінована тригенераційна технологія на основі виробництва електроенергії у вітроенергетичній установці (ВЕУ) з подальшим використанням її для підігріву атмосферного повітря в електронагрівнику з метою сушіння і грануляції мінеральних добрив і сонячного колектора, також для підігріву атмосферного повітря для сушіння і грануляції мінеральних добрив.

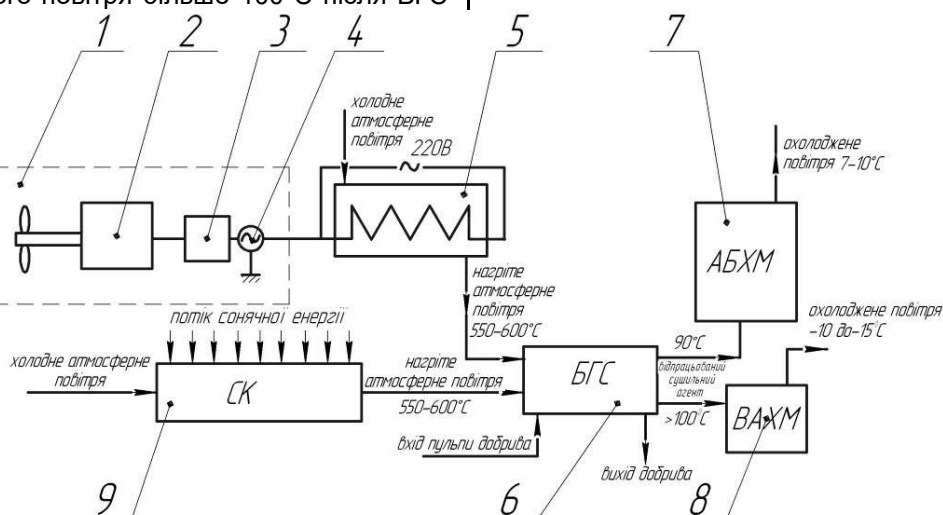


Рис.2 Комбінована тригенераційна технологія сушіння та грануляції мінеральних добрив з використанням сонячних колекторів (СК):

- 1 – вітроенергетична установка (ВЕУ); 2 – вітродвигун; 3 – муфта; 4 – електрогенератор;  
 5 – електронагрівник сушильного агента (атмосферного повітря); 6 – барабанна гранулятор сушилка (БГС);  
 7 – бромистолітєва холодильна машина (АБХМ); 8 – водоаміачна холодильна машина (ВАХМ);  
 9 – сонячні колектори (СК).

Комбінована тригенераційна технологія сушіння і грануляції мінеральних добрив по схемі рис.2 включає: вітроенергетичну установку (ВЕУ) 1 з вітродвигуном 2, муфтою 3, електрогенератором 4; електронагрівник сушильного агента (атмосферного повітря) 5; барабанну гранулятор-сушилку 6; бромистолітєву холодильну машину АБХМ 7; водоаміачну холодильну машину ВАХМ 8. сонячні колектори (СК) 9;

Тригенераційна технологія сушіння і грануляції мінеральних добрив по схемі рис.2 працює наступним чином. Електроенергія змінного струму виробляється електрогенератором 4 вітроенергетичної установки ВЕУ 1, яка направляє до електронагрівника 5 для підігріву атмосферного повітря в якості сушильного агента до 550÷600°C, і паралельно атмосферного повітря нагрівається до температури 550÷600°C, як сушильного агента в сонячних колекторах 9, яке спрямовується в барабанну гранулятор-сушилку 6 мінерального добрива. Після БГС 6 відпрацьований сушильний агент (повітря) при температурі в межах 90°C направляє до бромистолітєвої холодильної машини 7 для охолодження його до

температури 7÷10°C. Якщо температура відпрацьованого повітря більше 100°C після БГС 6, тоді воно направляє до водоаміачної холодильної машини ВАХМ 8 для охолодження до температури від -10 до -15°C. Охоложене повітря використовується для охолодження мінерального добрива після сушіння і грануляції, а також на інші технологічні цілі.

#### **Висновки.**

1. В запропонованому способі реалізується тригенераційний термодинамічно досконалий, енергоефективний, наукоємний, екологічно чистий з високим ККД спосіб сушіння та грануляції мінеральних добрив з використанням технологічного процесу відновлювальних джерел енергії (вітрової та сонячної).

2. Повністю виключається використання природного газу та інших видів палива з повним енергозбереженням.

3. Реалізується тригенераційний принцип з генерацією електроенергії, тепла та холоду.

4. Повністю відсутній викид шкідливих речовин в атмосферу.

#### **Список використаної літератури:**

1. Новые разработки в технологии аммофосфата. Обз. Информация. Серия «Минеральные удобрения и серная кислота», НИИТЭХИМ, М., 1990, С.26.
2. Спосіб підготовки сушильних газів для виробництва мінеральних добрив. Деклараційний патент UA 70072 A 7 F26B9/06, F26B17/00. Бюл. №9, 2004р.
3. В.С. Кривцова, О.М. Олейникова, О.І. Яковлева «Альтернативна енергетика». – Харків, Севастопіль.–2008р.– 620с.
4. Классен П.В. Гранулирование [Текст]/ П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.Н. Шомин.– М.: Химия, 1991.– 240с.

#### **Паєлюченко А.М., Шелудченко В.В. НОВИЙ СПОСОБ ЕНЕРГОСБЕРЕЖЕННЯ В СУШКЕ І ГРАНУЛЯЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ УДОБРЕНЬ**

*Предложен новый тригенерационный, термодинамически совершенный, энергоэффективный, наукоёмкий, экологически чистый, с высоким КПД способ сушки и грануляции минеральных удобрений с использованием технологического процесса возобновляемых источников энергии (ветровой и солнечной). В предложенном способе полностью исключается использование природного газа и других видов топлива с полным энергосбережением.*

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, сушка и грануляция, возобновляемые источники энергии, энергосбережение.

#### **Pavlyuchenko A.M., Sheludchenko V.V. A NEW METHOD OF ENERGY SAVING IN DRYING AND GRANULATION OF MINERAL FERTILIZERS**

*The process of drying and granulation of mineral fertilizers is a complex thermal and thermodynamic process and needs to be improved for efficient use of energy potential (exergy) of fuel on the basis of modern scientific and technical achievements.*

*The closest in thermodynamic and technical essence, the achieved result and adopted for the prototype is a method of preparing a drying gas over cogeneration the principle of using the energy potential of the fuel on the basis of introducing the technology of gas turbine unit (GTU) for production in the combustion of the gas fuel to heat the drying gases after the gas turbine and optionally power in the power generator gas turbines. This is the energy saving technology of high level.*

*One of the shortcomings analyzed and investigated methods of drying and granulation is that it does not fully use the energy potential of fuel (exergy) due to the fact that is only the principle of cogeneration to produce heat and electric energy in the technology of drying and granulation of mineral fertilizers; gas turbine has a high financial cost that affects the payback period of such technologies for the cogeneration scheme.*

*There is a need to ensure that the gas turbine unit natural gas is not used the energy potential of the exhaust gas after drying and granulation, and the efficiency of the gas turbine does not exceed 30%.*

*In the proposed method is implemented trigenerative thermodynamically perfect, energy-efficient, high-tech, environmentally friendly high efficiency method of drying and granulation of mineral fertilizers with the use of the technological process of renewable energy (wind and solar).*

*Completely eliminates the use of natural gas and other fuels with full energy. Implemented regenerating principle with the generation of electricity, heat and cold. Completely no harmful emissions into the atmosphere.*

**Key words:** mineral fertilizers, drying and granulation, renewable energy, energy conservation.

Стаття надійшла в редакцію 01.10.2016р.

Рецензент: д.ф-м.н., професор Кузема О.С.

УДК 514.18

## УЗАГАЛЬНЕНЕ НАТУРАЛЬНЕ ТА ПАРАМЕТРИЧНІ РІВНЯННЯ КЛАСУ СПІРАЛЕЙ, ДО ЯКИХ ВХОДЯТЬ ВІДОМІ КРИВІ

**С. Ф. Пилипака**, д.т.н., проф.,

**Т. С. Кремець**, к.т.н., доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Т. М. Захарова**, к.т.н., Сумський національний аграрний університет.

*Сформульовано підхід до конструювання плоских кривих, описаних параметричними рівняннями у функції натурального параметра, на основі задання кривої в полярній системі координат. За допомогою розробленого підходу отримано узагальнене натуральне та параметричні рівняння, які описують широкий спектр спіралей, до якого входять деякі відомі криві. Візуалізовано криві, отримані за допомогою запропонованого підходу. Наведено узагальнене натуральне рівняння отриманих кривих. Наведені у статті криві не вичерпують формотворчі можливості запропонованого підходу.*

**Ключові слова:** крива, спіраль, натуральний параметр, параметричні рівняння, натуральне рівняння, довжина дуги.

**Постановка проблеми.** Серед різноманіття формоутворення плоских кривих особливе місце займають криві, описані натуральними або параметричними рівняннями у функції натурального параметра (довжини власної дуги). Зокрема, диференціальна геометрія потребує опису кривих їх натуральними рівняннями. Формули Серре-Френе, які є базовими для дослідження і конструювання кривих, можуть застосовуватися до кривих, заданих саме у такій формі. Криві лінії в певних умовах мають механічні властивості, а тому широко застосовуються в техніці. Наприклад, циклоїда є брахістохроною при русі частинки по поверхні під дією сили власної ваги при відсутності опору руху [1]. Підвішена в двох точках гучка важка нитка приймає форму ланцюгової лінії [2]. Перехідні лінії на заокругленнях залізничних колій проектується у формі дуг клоатоїди [3] або лемніскати Бернуллі [4]. В зубчатих зачепленнях профіль зуба викреслюється по евольвенті кола [5]. Профілем вертикального перерізу антифрикційної п'яти карусельного токарного верстата є трактриса [6]. При пружному згинанні тонких консолю закріплених стержнів на значну величину під дією прикладеної сили їх вісь приймає форму клоатоїди [7]. Окрему групу кривих представляють траєкторії руху матеріальної частинки по шорсткій поверхні або площині [8, 9].

Деякі спеціальні лінії поверхні мають механічні властивості, як, наприклад, геодезичні, які можуть бути граничними траєкторіями руху частинки по поверхні при великих її швидкостях [10], або лінії укусу, як вірогідні траєкторії руху водних потоків [11]. Не зважаючи на те, що в техніці широко застосовуються криві лінії, описані параметричними рівняннями у функції натурального параметра, у науковій літературі плоскі криві, описані у такому вигляді, обмежені незначним переліком.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Параметричні рівняння кривої не завжди можна знайти при наявності її натурального рівняння. В такому випадку слід застосовувати чисельні методи інтегрування. Також можна наближено будувати криві графоаналітичними методами [12] або ж застосовувати кінематичний підхід [12]. Для відшукування параметричних рівнянь спіралей у функції натурального параметра у праці [14] було запропоновано використовувати плоскі ізометричні сітки, а у праці [15] – супровідний тригранник Френе. Проте досліджень кривих ліній на основі натуральних параметрів в прикладній геометрії обмаль, що не відповідає проблемам прикладного застосування.

**Мета та завдання дослідження.** Поповнити клас плоских спіралей у функції натурального параметра новими кривими із розробкою підходу