

Семенюк Дмитро Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Семенюк Дмитрий Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61045. Тел.: (057)349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Semeniuk Dmytro, PhD, Sc. Associate Professor, faculty of equipment and technical services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovskaya str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61045. Tel.: (057)349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. М.І. Погожих, канд. техн. наук, проф. І.В. Бабкіною.
Отримано 1.08.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 621.928.37

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АПАРАТІВ ІЗ ЗУСТРІЧНИМИ ЗАКРУЧЕНИМИ ПОТОКАМИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УЛОВЛЕННЯ

М.Ю. Савченко-Перерва

Запропоновані експериментальні дослідження загальної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками (АЗЗП) із використанням програми для аналізу зображень. Розроблено методику порівняльного аналізу апаратів із зустрічними закрученими потоками до та після вдосконалення. Визначено мінімальну фракцію вловленого сухого продукту.

Ключові слова: загальна ефективність, апарат із зустрічними закрученими потоками, фракція, сухий продукт.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ АППАРАТОВ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ

М.Ю. Савченко-Перерва

Предложены экспериментальные исследования общей эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками (АЗЗП) с

использованием программы для анализа изображений. Разработана методика сравнительного анализа аппаратов со встречными закрученными потоками до и после усовершенствования. Определена минимальная фракция сухого продукта.

Ключевые слова: общая эффективность, аппарат со встречными закрученными потоками, фракция, сухой продукт.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF APPARATUSES WITH COUNTER SWIRLING FLOWS ON THE EFFICIENCY OF COLLECTION

M. Savchenko-Pererva

In Sumy National Agrarian University, an experimental stand apparatus was mounted to study colliding with twisted threads. The stand complies with the requirements adopted for these "the only method" tests. The above method is available for use and allows you to get objective importance in determining the basic parameters of the tested devices, including devices with counter twisted threads.

The proposed pilot examines overall efficiency of vehicles colliding with twisted streams (AZZP) using software for image analysis. All experiments were performed 5 times. The disagreement results did not exceed more than 5%. For the next series of experiments, the stand was remounted in other experimental conditions. Therefore, using this stand, such experimental researches were carried out: determination of aerodynamic characteristics of dusty air streams; determination of the overall efficiency of vehicles colliding with twisted flows before and after improvement; determination of pressure losses in apparatuses. When the held five times experiments were over, the frequency for each unloading hopper AZZP was made, bringing the three samples obtained involved product. These samples were tested for particular composition using scanning electron microscope with low vacuum camera SEM-106 I. Before the study, a number of dry particles coated with a disposable adhesive on both sides, adhesive tape, and then stuck to the Petri dish. Then each film was sprayed with silver at the Institute of Applied Physics via VUP-5M (vacuum universal post), after which they were transferred to the SEM sample holder pre blurry Aquadag (carbohydrate pasta). It should be noted that during the treatment dry particles to form agglomerates sought, because of their large water absorption, because X-rays often generated inside the sample, which was 10 microns at the point of falling electron beam. In particular cases, for particles up to 10 microns, x-ray radiation caused fluorescence in the sample holder REM, which led to undesired radiation.

The method of benchmarking units with counter flow curled to perfection even after the improvement. The minimum fraction captured dry product, which constituted 1.99 microns of trapped particles – after the improvement in AZZP (single cone).

Keywords: overall efficiency, apparatus with counter swirling flows, fraction, dry product.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Усі наявні теорії не спростовують того факту, що окрім складності руху закручених потоків у сепараційній зоні, однею з причин відсутності надійних методів розрахунку процесів у вихрових апаратах є зниження обертального руху первинного потоку, що призводить до зменшення кутової швидкості, яка є визначальним параметром згідно з дослідженнями МТІ [1], і як наслідок – до падіння осьової швидкості запиленого повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом були запропоновані теоретичні залежності [2; 3], які використовуються для розрахунку вихрових апаратів та циклонів, також ученими було підтверджено високу ефективність уловлення частинок у циклонах – більше 10 мкм. Нові розробки (вихрові пиловловлювачі та апарати із зустрічними закрученими потоками – АЗЗП) зменшують нижній край вловлених частинок до 3–5 мкм, але сфера досліджень цих апаратів залишається недостатньо вивченою. Застосування вихрових технологій з кожним роком поширюється [4].

Мета статті – підтвердити підвищення ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками після удосконалення шляхом проведення комплексу експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. У Сумському національному аграрному університеті, в лабораторії № 111, був змонтований експериментальний стенд (рис. 1) для дослідження апаратів із зустрічними закрученими потоками.

Стенд відповідає всім вимогам, прийнятим для таких випробувань «Єдиною методикою» [5].

Усі відомі на сьогодні порівнювальні методики, як вітчизняні, так і закордонні, побудовані практично однаково.

Указана методика є доступною в застосуванні та дозволяє одержати об'єктивні значення внаслідок визначення основних параметрів випробуваних пристроїв, зокрема й апарата з зустрічними закрученими потоками.

Він складається з пиловловлювача (1), нижня циліндрична частина якого змінюється залежно від АЗЗП, що досліджується, пилозбірника (2), у який засипається вловлений апаратом пилоподібний матеріал (сухе молоко), системи штучного запилення повітря (3), гнучкого повітропровода (4), регулятора витрати повітря (5), вентилятора високого тиску № 3 (ВВТ-3) – робочого колеса на валу подшипникового вузла, зв'язаного з електродвигуном клиноременною передачею, який дозволяє змінювати оберти робочого колеса шкивами (6) – та системи пилоприготування й аналізу дослідів (7).

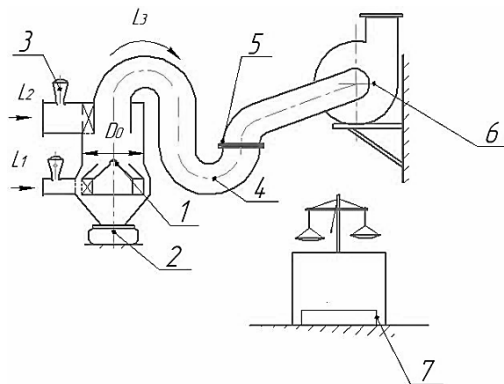


Рис. 1. Схема загального вигляду експериментального стенда:
1 – пиловловлювач із зустрічними закрученими потоками;
2 – пилозбірник; **3 – система штучного запилення повітря;** **4 – гнучкий повітропровід;** **5 – регулятор витрати повітря;** **6 – вентилятор ВВТ-3;**
7 – система пилоприготування

Усі дослідження повторювалися по 5 разів із розбіжністю результатів не більшою за 5%.

Для наступної серії дослідів стенд пристосували до інших умов експерименту.

Так, за допомогою стенду здійснювалися такі експериментальні дослідження: визначення аеродинамічних характеристик потоків запиленого повітря; визначення загальної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками до та після вдосконалення; визначення втрат тиску апаратів.

Ефективність АЗЗП визначалася шляхом запилення повітря сухим молоком вагою 50 г двома каналами одночасно протягом 50 секунд.

Оскільки конструктивно вторинний патрубок удвічі більший за первинний, то відповідно у вторинний патрубок АЗЗП довжиною (a_2) 0,09 м надходило (G_1) 35 г продукту, а до первинного довжиною (a_1) 0,045 м – (G_2) 15 г.

Ефективність визначалася згідно з відношенням ваги сухого молока, уловленого в бункері АЗЗП ($G_{вл}$), до ваги сухого молока, яке входить до апарату ($G_в$) за період досліду (τ) [6]:

$$\eta_{\text{вл}} = \left(\frac{G_{\text{вл}}}{G_{\text{в}}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Але ефективність АЗЗП у такому вигляді не дає повного уявлення про кількість дрібних частинок, що виносяться з очищеним повітрям. Тому доцільно буде ввести поняття ефективності вловлених апаратом частинок ($\eta_{\text{вл}}$), яка дорівнює відношенню вагової кількості дрібних частинок сухого молока, що виносяться з апарату в атмосферу ($G_{\text{вин}}$), до вагової кількості сухого молока, яке в нього входить ($G_{\text{в}}$):

$$\eta_{\text{вин}} = (G_{\text{вин}} / G_{\text{в}}) \cdot 100\% = [(G_{\text{в}} - G_{\text{вл}}) / G_{\text{в}}] \cdot 100\%$$

$$\text{або} \quad \eta_{\text{вин}} = (100 - \eta_{\text{вл}}) \%, \quad (2)$$

Визначення ефективності здійснювалося в АЗЗП до удосконалення та у двох удосконалених АЗЗП (перший – з двома конусами в нижній частині, другий – з одним).

Таким чином, після закінчення серії з п'яти дослідів було зроблено вивантаження бункеру кожного АЗЗП, у результаті чого отримано три зразки вловленого продукту.

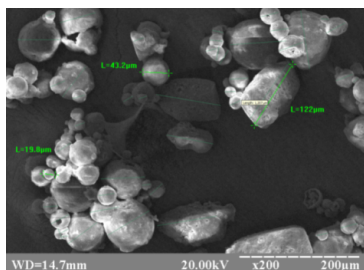
Ці зразки були досліджені на дисперсний склад за допомогою растрового електронного мікроскопу із камерою низького вакууму РЕМ-106 І.

Перед початком дослідження деяка кількість сухих частинок наносилася на одноразову липку з обох сторін, клейку стрічку, яку приклеювали до чашки Петрі.

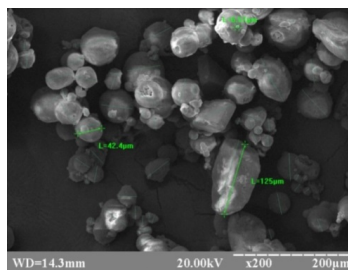
Потім кожна стрічка була напилена сріблом в Інституті прикладної фізики за допомогою ВУП-5М (вакуумний універсальний пост), після чого вони переносилися до утримувача зразка РЕМ, попередньо змазаного аквадагом (вуглеводною пастою).

Слід зазначити, що в процесі обігу сухі частинки прагнули утворити агломерати внаслідок їх великої гігроскопічності, тому рентгенівське випромінення часто генерувалося всередині зразка, який знаходився на відстані до 10 мкм від точки потрапляння електронного пучка.

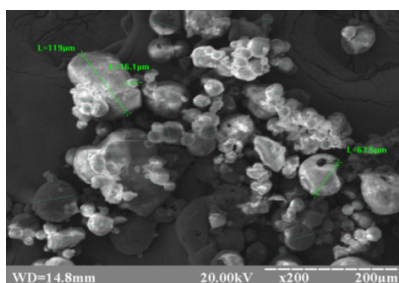
У деяких випадках для частинок розміром до 10 мкм рентгенівське випромінювання викликало флуорисценцію в утримувачі зразка РЕМ, а це призводило до небажаного випромінювання. Тому на деяких зображеннях змінюється колір та відстань зразкового матеріалу. Отримані зображення фракційного складу сухого молока (рис. 2 а, б, в) були проаналізовані за допомогою програмного забезпечення Med Calc Digimizer 4.0 для аналізу зображень, що дозволяє точно вимірювати, а також автоматично визначати характеристики об'єктів. Результати наведено в таблиці.



а



б



в

Рис. 2. Експериментальні зразки сухого молока, отримані з певного АЗЗП: а – до вдосконалення; б – після вдосконалення (із двома конусами); в – після вдосконалення (з одним конусом)

Таблиця

Дисперсний склад сухого молока експериментальних зразків

№ з/п	п, кількість твердих частинок	Середній діаметр частинок, мкм	Найменший діаметр тв. частинок, мкм	Найбільший діаметр тв. частинок, мкм
1	89	31,13	2,55	142,00
2	114	18,28	2,04	123,56
3	99	25,59	1,99	135,51

Проаналізувавши дані таблиці, можна зробити висновок, що найменша фракція вловлених частинок – 1,99 мкм у АЗЗП після вдосконалення (з одним конусом), тоді як у АЗЗП до вдосконалення – 2,55 мкм.

Співвідношення частинок різного діаметра у відсотках визначали за формулою [7]:

$$\eta = \frac{N_i}{\sum_i N} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де N_i – кількість частинок у фракції; $\sum_i N$ – добуток кількості всього частинок. Побудування почали із найдрібніших частинок, відкладаючи їх відсоткову кількість (η , %) на ординаті, потім для частинок наступної фракції, відклали ординату, яка дорівнює добутку відсоткового вмісту частинок цієї фракції (з більшим діаметром) і так далі, доки остання ордината (яка відповідає максимальному діаметру) не становитиме 100%.

За допомогою певних операцій в середовищі програми MathCad побудували інтегральні та диференціальні функції розподілення для кожного проаналізованого зразка певного апарата, а саме:

1. Результати для АЗЗП до вдосконалення на рис. 3, 4.

$$f1(z) := -0,049 + 2,139 \cdot z + 0,036 \cdot z^2 - 1,849 \cdot 10^{-3} \cdot z^3 + 2,443 \cdot 10^{-5} \cdot z^4 - 1,104 \cdot 10^{-7} \cdot z^5$$

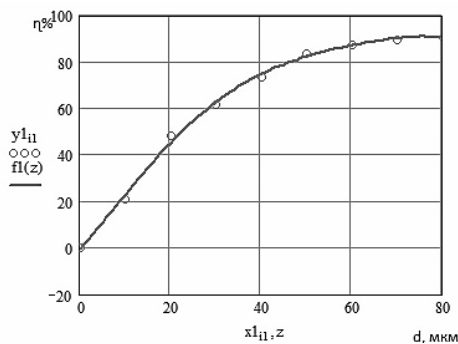


Рис. 3. Інтегральна функція розподілення для АЗПІ до вдосконалення

$$fd1(z) := 0,03 \cdot z^{1,245} \cdot \exp(-0,078 \cdot z)$$

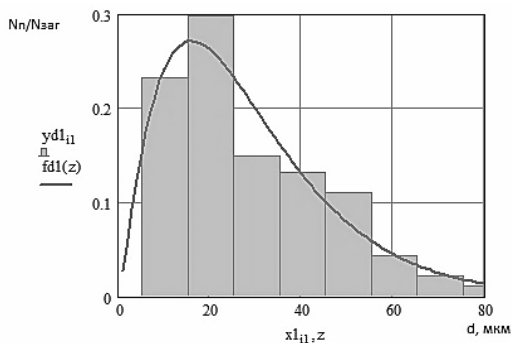


Рис. 4. Диференціальна функція розподілення на тлі експериментальної дискретної гістограми, яка вказує на кількість частинок різних розмірів (АЗПІ до вдосконалення)

2. Результати для АЗПІ після вдосконалення (із двома конусами) на рис. 5, 6.

$$f2(z) := -2,602 + 5,011 \cdot z - 0,085 \cdot z^2 + 4,856 \cdot 10^{-4} \cdot z^3 - 1,728 \cdot 10^{-8} \cdot z^4 - 0 \cdot z^5$$

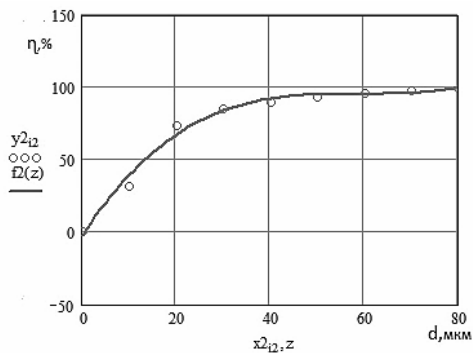


Рис. 5. Інтегральна функція розподілення для АЗЗП після вдосконалення (із двома конусами)

$$fd2(z) := 1,368 \cdot 10^{-4} \cdot z^{4,681} \cdot \exp(-0,301 \cdot z)$$

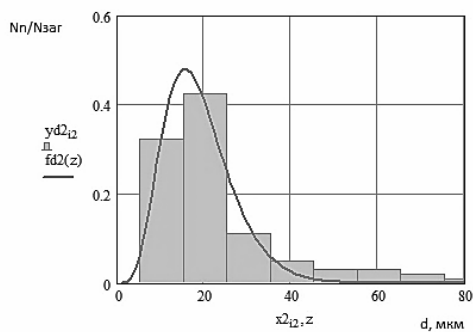


Рис. 6. Диференціальна функція розподілення на тлі експериментальної дискретної гістограми, яка вказує на кількість частинок різних розмірів (АЗЗП після вдосконалення з двома конусами)

3. Результати для АЗЗП після вдосконалення (з одним конусом) на рис. 7, 8.

$$f3z := -0,403 + 2,942 \cdot z + 0,034 \cdot z^2 - 2,826 \cdot 10^{-3} \cdot z^3 + \\ + 4,369 \cdot 10^{-5} \cdot z^4 - 2,138 \cdot 10^{-7} \cdot z^5$$

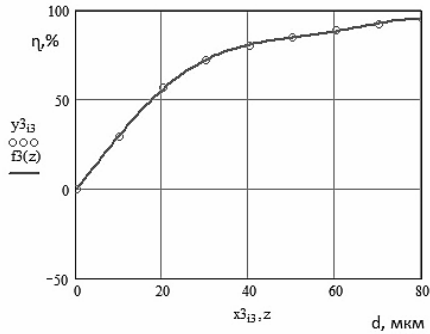


Рис. 7. Інтегральна функція розподілення для АЗЗП після вдосконалення (з одним конусом)

$$fd3(z) := 0,051 \cdot z^{1,186} \cdot \exp(-0,093 \cdot z)$$

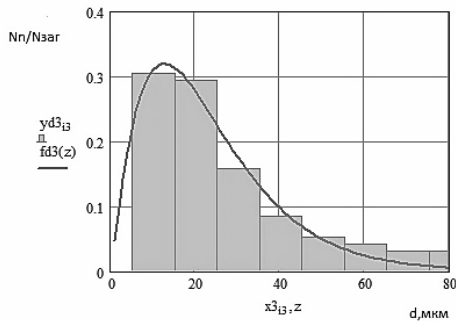


Рис. 8. Диференціальна функція розподілення на тлі експериментальної дискретної гістограми, яка вказує на кількість частинок різних розмірів (АЗЗП після вдосконалення з одним конусом)

4. Результати для трьох АЗЗП на рис. 9, 10.

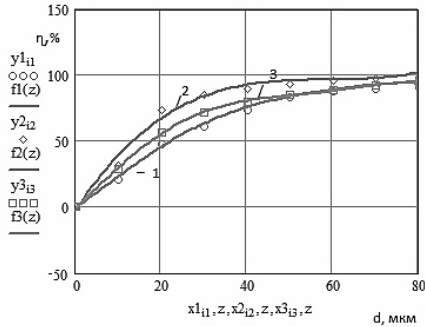


Рис. 9. Інтегральні функції розподілення для трьох апаратів із зустрічними закрученими потоками:
1 – АЗЗП до вдосконалення; 2 – АЗЗП після вдосконалення (із двома конусами); 3 – АЗЗП після удосконалення (із одним конусом)

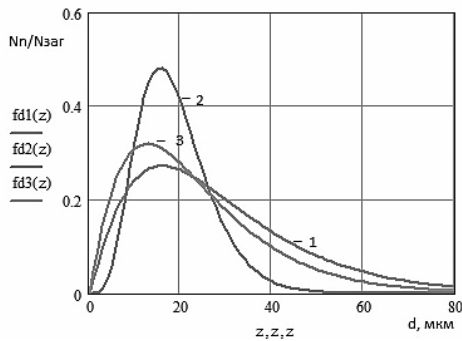


Рис. 10. Диференціальні функції розподілення для трьох апаратів із зустрічними закрученими потоками:
1 – АЗЗП до вдосконалення; 2 – АЗЗП після вдосконалення (із двома конусами); 3 – АЗЗП після удосконалення (із одним конусом)

Як бачимо, інтегральні та диференціальні функції розподілення повністю і точно описують експериментальні дані та приходяться на експериментальний максимум [8], що дає можливість визначити найбільш імовірний розмір частинок для зразка, а також зробити висновок, що ефективність уловлення твердих частинок з повітря в АЗЗП після удосконалення з двома конусами найвища. Про це свідчить рисунок ба, причому найбільше вловлення відбулося середніх та дрібних фракцій, у межах від 1,99 до 18 мкм (рис. 6б).

Висновки. Одержані дані внаслідок експериментальних досліджень підтвердили підвищення ефективності в апаратах із зустрічними закрученими потоками після удосконалення, з найменшою фракцією вловлених частинок – 1,99 мкм, в АЗЗП після удосконалення (з одним конусом).

Список джерел інформації / References

1. Моделирование движения газа в аппаратах со встречными закрученными потоками / [Б. С. Сажин, Б. П. Лукачевский и др.] // Журнал ТОХТ. – 1985. – № 5. – С. 687–690.

Sazhyn, B.S. (1985), “Simulation of gas flow in the apparatus with counter swirling flows”, [Modelyrovanye dvyzheniya haza v apparatakh so vstrechnymy zakruchennymy potokamy], No. 5, pp. 687-690.

2. Ciliberti, D.F., Lancaster, B.W. (1976), “An Implovement of Simple. Model for rotary flow Cyclones”, *Alche Journal*, Vol. 22, No. 6, pp. 394-399.

3. Ciliberti, D.F., Lancaster, B.W. (1976) “Perfurmonse of rotary flow cyclones”, *Alche Journal*, Vol. 22, pp. 394-399.

4. Герасимов В. М. Структура потоков в аппаратах со встречными закрученными потоками / В. М. Герасимов, А. Р. Якуба, С. А. Тимчук // Вісник СНАУ. – 2001. – Вип. 7. – С. 24–29.

Herasymov, V.M. (2001), “The structure of flows in the apparatus with opposing twisted threads” [“Struktura potokiv v aparatakh iz zustrichnymy zakruchenymy potokamy”], SNAU, Sumy, No. 7, pp. 24-29.

5. Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей / [Г. М. Гордон, М. М. Зайцева и др.]. – Л. : Наука, 1967. – 120 с.

Hordon, H.M. (1697), *The uniform methodology of comparative tests of dust collectors* [*Edynaia metodyka sravnytelnukh yspytanyi puleulovytelei*], 120 p.

6. Азарський К. І. Локалізація екологічної загрози забруднення атмосфери від пилу спалювання вугілля на ТЕС : дис. ... канд. техн. наук / К. І. Азарський. – Львів, 2008. – 206 с.

Azarskyi, K.I. (2008), *Localization of environmental threats of air pollution from dust coal combustion at thermal power plants: dissertation* [*Lokalizatsiia ekolohichnoi zahrozy zabrudnennia atmosfery vid pylu spalivannia vuhillia na TES: dys. ... kand. tekhn. nauk*], Lviv, 206 p.

7. Кирьянов Д. В. Вычислительная физика / Д. В. Кирьянов, Е. Н. Кирьянова. – М. : Полибук Мультимедиа, 2006.

Kyrianov, D.V. (2006), *Computational physics* [*Vuchyslytelnaia fizyka*], Polybuk Multymedya, Moscow.

8. Максфилд Б. Mathcad в инженерных расчетах / Б. Максфилд. – М. : КОРОНА – Век : МК – Пресс, 2010.

Maksfyld, B. (2010), *Mathcad in engineering calculations* [*Mathcad v ynzhenernukh raschetakh*], KORONA – Vek : MK – Press, Moscow.

Савченко-Перерва Марина Юрївна, асист., кафедра інженерних технологій харчових виробництв, Сумський національний аграрний університет. Адреса: вул. Г. Кондратьєва 160, м. Суми, Україна, 40021. Тел.: (0542)63-25-70, 0993834398; e-mail: marina.saw4encko2011@yandex.ua.

Савченко-Перерва Марина Юрьевна, асист., кафедра инженерных технологий пищевых производств, Сумской национальной аграрный университет. Адрес: ул. Г. Кондратьева, 160, г. Сумы, Украина, 40021. Тел.: (0542)63-25-70, 0993834398; e-mail: marina.saw4encko2011@yandex.ua.

Savchenko-Pererva Marina, Department of Engineering and technology of food manufactures, Sumy national agrarian University. Address: G. Kondratiev str. 160, Sumy, Ukraine, 40021. Tel.: (0542)63-25-70, 0993834398; e-mail: marina.saw4encko2011@yandex.ua.

Рекомендовано до публікації канд. техн. наук, доц. О.Б. Шандибою, канд. техн. наук, доц. Л.Г. Рожковою.

Отримано 1.08.2015. ХДУХТ, Харків.