

Gorelkov Dmitriy, Candidate of Science, associate Professor, Department of food and hotel industry equipment named after M.I. Belyaev, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: gorelkov.dmv@gmail.com

Афюкова Наталія Олександрівна, канд. техн. наук, проф., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: afukova@mail.ua.

Афюкова Наталья Александровна, канд. техн. наук, проф., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, Харьков, Украина, 61051. E-mail: afukova@mail.ua.

Afukova Natalia, Candidate of Science, Professor, Department of food and hotel industry equipment named after M.I. Belyaev, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovskaya str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: afukova@mail.ua.

Мельник Костянтин Григорович, магістрант, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: oboudhduht@gmail.com.

Мельник Константин Григорьевич, магістрант, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, Харьков, Украина, 61051. E-mail: obouid.hduht@gmail.com.

Melnik Konstantin, master, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: obouidhduht@gmail.com.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 621.928.37

РОЗРАХУНОК ПОЛІВ ШВИДКОСТЕЙ У ЦИЛІНДРИЧНОМУ АПАРАТІ ІЗ ЗУСТРІЧНИМИ ЗАКРУЧЕНИМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

М.Ю. Савченко-Перерва, О.Р. Якуба

Розроблено методику розрахунку полів швидкостей на основі аеродинамічних характеристик руху газу у відцентровому полі за допомогою п'ятиканального зонда. Наведено розрахунки швидкостей за кожним видом апарата із зустрічними закрученими потоками до та після вдосконалення.

© Савченко-Перерва М.Ю., Якуба О.Р., 2015

Побудовано графіки залежностей абсолютної, осьової, тангенціальної та радіальної швидкостей, виходячи з того, у якому апараті із зустрічними закрученими потоками вони виміряні.

***Ключові слова:** п'ятиканальний зонд, поля швидкостей, аеродинамічні характеристики.*

РАСЧЕТ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ АППАРАТЕ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

М.Ю. Савченко-Перерва, А.Р. Якуба

Разработана методика расчета полей скоростей на основе аэродинамических характеристик движения газа в центробежном поле с помощью пятиканального зонда. Приведены расчеты скоростей по каждому виду аппарата со встречными и закрученными потоками до и после усовершенствования. Построены графики зависимостей абсолютной, осевой, тангенциальной и радиальной скоростей, исходя из того, в каком аппарате со встречными закрученными потоками они вымеряны.

***Ключевые слова:** пятиканальный зонд, поля скоростей, аэродинамические характеристики.*

CALCULATION OF VELOCITY FIELD IN CYLINDRICAL DEVICE WITH A COUNTER-SWIRLING FLOWS BASED ON EXPERIMENTS

M. Savchenko-Pererva, A. Yakuba

The methodology of calculating velocity field based on the aerodynamic characteristics of the motion of gas in centrifugal field, using a five-channel probe is elaborated. There are many studies on the development of various methods for the velocity determination, and a huge amount of construction equipment is created. The velocity direction was determined by the alternately rotating device in three mutually perpendicular planes around the center of the ball. Rotation produced as long as until the paired lateral openings (4-5) does not set the same pressure. Calculation of the rate is based on the formula grounding on a critical analysis of the known methods for determining the velocity fields. This method of measurement is the most accurate. Furthermore, it is the simplest processing of experimental data. Plot the absolute axial, tangential and radial velocities, based on the order in which the unit with counter swirling flow they are measured.

***Keywords:** five-channel probe, velocity field, aerodynamic characteristics.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Важливою аеродинамічною характеристикою АЗЗП є структура потоку, у спрощеному варіанті для пиловловлювачів – це поле локальних

швидкостей V_φ, V_z, V_r по об'єму апарата. Розрахунки полів швидкості можливі за наявності геометричних параметрів елементів сепарації [1] – $r_0, r_1, r_2, r_3, r_4, H$ та технологічних показників – витрати запиленого газу L_1 та L_2 [2]. З усіх вимірів, які були зроблені в експериментальній механіці газів, вимірювання швидкостей є найбільш важливим і широко застосовуваним. Існують такі методи, що застосовуються на практиці для вимірювання швидкостей:

1. Механічний метод, за якого використовуються прилади типу вертушок, анемометрів тощо. Він заснований на безпосередньому механічному впливові потоку на приймальний елемент приладу.
2. Пневматичний спосіб, за якого застосовується велика кількість різних насадок (трубки, циліндричні та кульові зонди тощо) У цих приладах приймальним і передавальним елементом є деякий об'єм рідини чи газу, а значення швидкості обчислюється за величиною виміряного тиску.
3. Акустичні методи, що дозволяють виміряти швидкість потоку пза розповсюдженням звуку в потоці, та інші методи виміру швидкостей [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує дуже багато праць, у яких досліджується розробка різних методів визначення швидкостей, і створено величезну кількість конструкцій приладів. Одним із перших приладів, що використовувався в лабораторії для вимірювання вектора швидкості в робочій частині аеродинамічної труби, була звичайна швидкісна трубка, на півсферичному носіку якої розміщено п'ять отворів, а хоботок можна було встановлювати в напрямку швидкості. Така швидкісна трубка придатна для вимірювання в дуже широких каналах і відносно однорідних полях швидкостей [3].

Мета статті – на основі експериментальних даних розрахувати швидкості всередині апаратів із зустрічними закрученими потоками до та після їх удосконалення та побудувати графіки залежностей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження структури потоку проводилися на лабораторному експериментальному стенді (рис. 1).

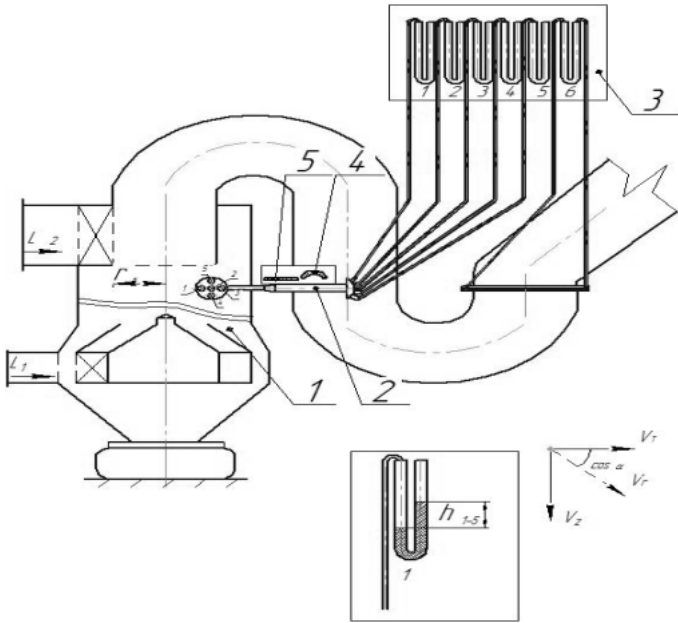


Рис. 1. Схема лабораторного стенда АЗЗП для встановлення аеродинамічних характеристик: 1 – АЗЗП; 2 – п’ятиканальний шаровий зонд; 3 – дошка із шістьма диференціальними манометрами; 4 – координатник; 5 – вимірювальна лінійка

Почергово проводилися вимірювання швидкостей у кожному з трьох апаратів, а саме: АЗЗП до удосконалення, АЗЗП після удосконалення (двома конусами) та АЗЗП після удосконалення (з одним конусом). Із метою усунення гальмуючого впливу вхідного моменту кількості руху в первинному потоці на загальну ефективність у цілому ми змінювали конструктивні параметри нижньої циліндричної частини пиловловлювача.

Вимірювання швидкостей проводилося пневматичним способом за допомогою п’ятиканального зонда 2 – кульки діаметром 5 мм із п’ятьма отворами, просвердленими у двох перпендикулярних одна до одної діаметральних площинах. Кулька розміщена на циліндричній державці. Кут між осями центрального та кожного з бічних отворів складає 40° . Кожен отвір кульки з’єднується тонкими трубками, що

проходять усередині державки. Кожний із вихідних отворів зонда пов'язаний із відповідним мікроманометром 3. Установлення зонда в задану точку апарата 1 виконувалося координатником 4 [4]. Глибина занурення зонда в апарат (по радіусу) змінювалася від стінки до центра корпусу, залежно від висоти розміщення координатника, з інтервалом 25 мм за допомогою лінійки 5. Визначення напрямку швидкості здійснювалося за допомогою почергового обертання приладу в трьох взаємно перпендикулярних площинах навколо центра кульки. Обертання відбувалося доти, поки в парі бічних отворів зонда не встановився однаковий тиск. Розрахунок величин швидкості проводився за формулами, які ґрунтуються на критичному аналізі відомих методів визначення полів швидкостей. Викладений спосіб вимірювання є найбільш точним. Крім того, він найбільш простий під час обробки експериментальних даних.

Перед дослідженням проводилося тарування зонда на Сумському НПО ім. М.В. Фрунзе. За результатами тарування побудовано графіки (рис. 2 а, б).

Коефіцієнт К показував зміну чутливість зонда під час зміни кута потоку δ (рис. 2а). Коефіцієнт K_δ дозволяв визначити кут між проекцією швидкості на горизонтальну площину та віссю, яка перпендикулярна зонду (рис. 2б).

Аналітично коефіцієнт K_δ визначається виразом:

$$K_\delta = \frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_4}, \quad (1)$$

де h – різниця рівнів у дифманометрі для відповідного отвору зонда, мм.

Так, АЗЗП-100 до вдосконалення:

а) *перший отвір* – $h = 130$ мм від *вихлопної труби*.

– на осі:

$h_1 = 25$ мм; $h_2 = 35$ мм; $h_3 = 42$ мм; $h_4 = h_5 = 39$ мм; $\alpha = 2^\circ$; $K_\delta = 4,25$ $\delta = 43^\circ$ (рис. 1б)

$K = 1,5$ (рис. 1а);

– модуль абсолютної швидкості:

$$V_{a1} = K \sqrt{\frac{2(h_2 - h_4)\rho_{cn}}{\rho_{nos}}} = 1,5 \sqrt{\frac{2 * 0,004 * 789}{1,21}} = 3,42 \text{ м/с};$$

де K – коефіцієнт чутливості зонда (рис. 1а); ρ_{nos} – густина повітря,

кг/м³; ρ_{cn} – густина спирту (спирт, який знаходиться в

диференціальних манометрах), кг/м³ за $t = 20^\circ = const$;

– тангенціальна швидкість:

$$V_{T1} = V_{a1} * \cos \delta * \cos \alpha = 3,42 * 0,73 * 0,99 = 2,47 \text{ м / с ;}$$

– осьова швидкість:

$$V_{Z1} = V_{a1} * \cos(90 - \alpha) * \cos(90 - \delta) = 3,42 * 0,03 * 0,68 = 0,07 \text{ м / с ;}$$

– радіальна швидкість:

$$V_{r1} = V_{a1} * \cos(90 - \delta) * \cos \alpha = 3,42 * 0,68 * 0,99 = 2,3 \text{ м / с ;}$$

– 25 мм від осі:

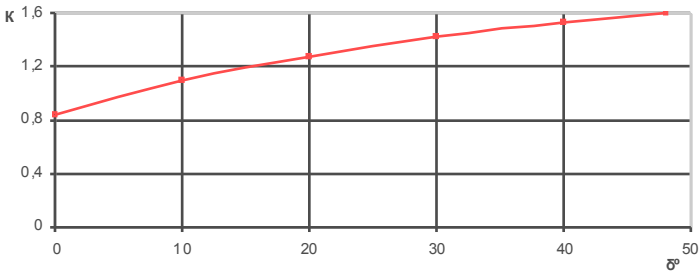
$$h_1 = 45 \text{ мм; } h_2 = 50 \text{ мм; } h_3 = 33 \text{ мм; } h_4 = h_5 = 45 \text{ мм; } \alpha = 2^\circ; \quad K_\delta = 2,4; \quad \delta = 22^\circ;$$

$$K = 1,3 \cdot V_{a2} = 3,3 \text{ м / с, } V_{T2} = 3,03 \text{ м / с, } V_{z2} = 0,036 \text{ м / с, } V_{r2} = 1,2 \text{ м / с ;}$$

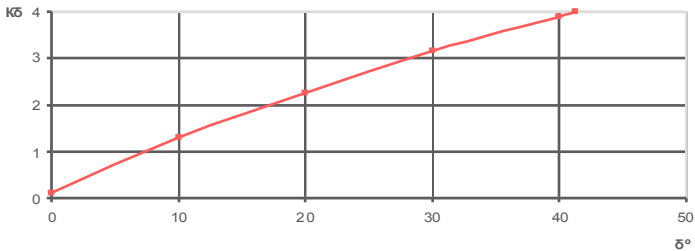
– 1 мм від стінки апарата:

$$h_1 = 23 \text{ мм; } h_2 = 32 \text{ мм; } h_3 = 30 \text{ мм; } h_4 = h_5 = 30 \text{ мм; } \alpha = 2^\circ; K_\delta = 3,5; \delta = 35^\circ;$$

$$K = 1,4 \cdot V_{a3} = 2,26 \text{ м / с, } V_{T3} = 1,8 \text{ м / с, } V_{z3} = 0,038 \text{ м / с, } V_{r3} = 1,27 \text{ м / с ;}$$



а



б

Рис. 2. Тарувальний коефіцієнт п'ятиканального зонда:

а) $K = f(\delta)$; б) $K_\delta = f(\delta)$

б) другий отвір – $h = 170$ мм від вихлопної труби.

– на осі:

$$h_1 = 45 \text{ мм}; h_2 = 50 \text{ мм}; h_3 = 35 \text{ мм}; h_4 = h_5 = 45 \text{ мм}; \alpha = 6^\circ; K_\delta = 2;$$
$$\delta = 18^\circ; K = 1,2 \cdot V_{a1} = 3,3 \text{ м/с}, V_{T1} = 3,1 \text{ м/с}, V_{z1} = 0,1 \text{ м/с}, V_{r1} = 0,98 \text{ м/с};$$

– 25 мм від осі:

$$h_1 = 40 \text{ мм}; h_2 = 42 \text{ мм}; h_3 = 50 \text{ мм}; h_4 = h_5 = 45 \text{ мм}; \alpha = 18^\circ; K_\delta = 3,3;$$
$$\delta = 31^\circ; K = 1,4 \cdot V_{a2} = 3,57 \text{ м/с}, V_{T2} = 2,1 \text{ м/с}, V_{z2} = 0,39 \text{ м/с}, V_{r2} = 1,24 \text{ м/с};$$

– 1 мм від стінки апарата:

$$h_1 = 36 \text{ мм}; h_2 = 35 \text{ мм}; h_3 = 30 \text{ мм}; h_4 = h_5 = 37 \text{ мм}; \alpha = 2^\circ; K_\delta = 3;$$
$$\delta = 28^\circ; K = 1,4 \cdot V_{a3} = 2,26 \text{ м/с}, V_{T3} = 1,97 \text{ м/с}, V_{z3} = 0,03 \text{ м/с}, V_{r3} = 1,05 \text{ м/с};$$

в) третій отвір – $h = 210$ мм від вихлопної труби.

– на осі:

$$h_1 = 30 \text{ мм}; h_2 = 25 \text{ мм}; h_3 = 27 \text{ мм}; h_4 = h_5 = 35 \text{ мм}; \alpha = 30^\circ; K_\delta = 0,3;$$
$$\delta = 3^\circ; K = 0,9 \cdot V_{a1} = 3,25 \text{ м/с}, V_{T1} = 2,8 \text{ м/с}, V_{z1} = 0,08 \text{ м/с}, V_{r1} = 0,14 \text{ м/с}.$$

– 25 мм від осі:

$$h_1 = 25 \text{ мм}; h_2 = 35 \text{ мм}; h_3 = 40 \text{ мм}; h_4 = h_5 = 39 \text{ мм}; \alpha = 76^\circ; K_\delta = 3,75;$$
$$\delta = 38^\circ; K = 1,4 \cdot V_{a2} = 3,2 \text{ м/с}, V_{T2} = 0,6 \text{ м/с}, V_{z2} = 1,86 \text{ м/с}, V_{r2} = 0,46 \text{ м/с};$$

– 1 мм від стінки апарата;

$$h_1 = 33 \text{ мм}; h_2 = 35 \text{ мм}; h_3 = 40 \text{ мм}; h_4 = h_5 = 37 \text{ мм}; \alpha = 33^\circ; K_\delta = 3,5;$$
$$\delta = 35^\circ; K = 1,4 \cdot V_{a3} = 2,26 \text{ м/с}, V_{T3} = 1,55 \text{ м/с}, V_{z3} = 0,7 \text{ м/с}, V_{r3} = 1,08 \text{ м/с}.$$

Так само розраховуються швидкості і для АЗЗП-100 після удосконалення.

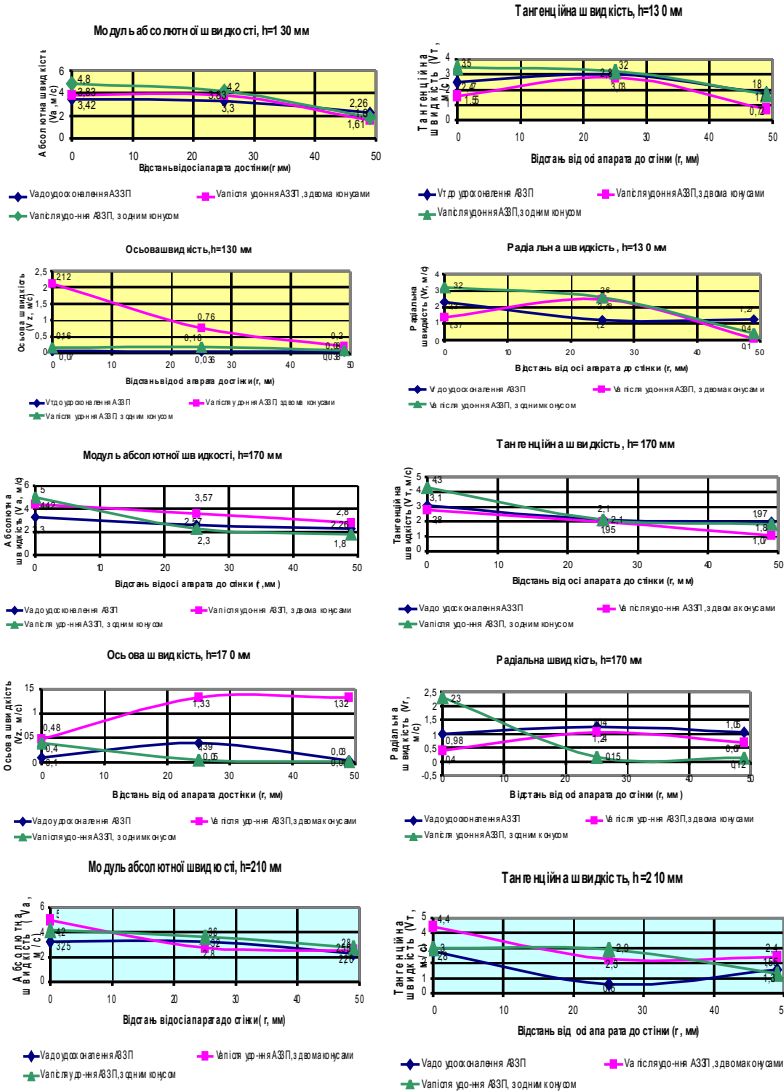


Рис. 3. Графіки швидкостей потоків у АЗЗП до та після вдосконалень

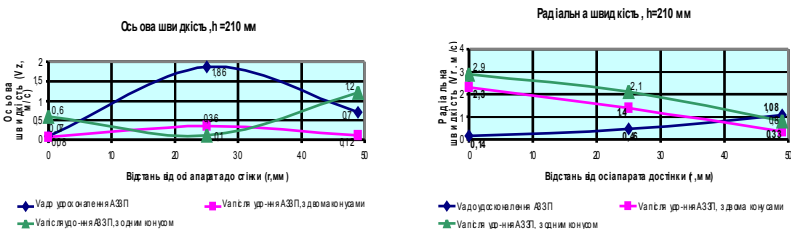


Рис. 3, аркуш 2

Похибка виміру витрат складала 7...8%. Відхилення модуля абсолютної швидкості від середньовимірного за дев'ятьма дослідженнями не перевищувало 10%, похибка виміру кута між вектором швидкості та горизонтальною віссю $\pm 2,5\%$. У зв'язку з цим похибка у визначенні осьової та радіальної швидкості – 10...15%, тангенціальної – 7...10%. Результати дослідів зображено у вигляді графіків (рис. 3). По осі ординат подано значення швидкостей $\vec{v} = v/\sqrt{v_{cp}}$, а на осі абсцис був відкладений відносний радіус $\bar{r} = r/r_0$.

Висновки. Експериментальні установки АЗЗП-100 після удосконалення мають більші швидкості запиленого потоку в сепараційній зоні апарату, ніж АЗЗП-100 до удосконалення, про що свідчать побудовані графіки швидкостей у трьох площинах. Розрахунки параметрів швидкості проводилися за математичними залежностями, які одержані авторами.

Список джерел інформації / Reference

1. Barth, W., (1956), "Berechnung und Anlegung von Zyklonabscheidern und Grund neuerer untersuchungen", *Brennstoff-warme-kraft*, Bd. 8, No. 1, pp. 1-10.
2. Barth, W., Leinewerber, L. (1964), Beurteilung und Anlegung von Zyklonabscheidern Staub, Bd. 24, No. 2, pp. 41-84.
3. Повх И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И. Л. Повх. – 3-е изд., доп. и исправл. – Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.
Povkh, I. (1974), Aerodynamic experiment in Mechanical engineering. 3rd ed. supplemented and corrected ["Aerodynamichnyj eksperyment v mashynobuduvanni"]. 3-e vydavnytvo, dopovnene, vypravlene, *Mechanical Engineering*, Saint Petersburg, 480 p.
4. Курмангалиев М. Р. Аэродинамика модели циклонной камеры с верхним вводом и выводом газов в изотермических условиях / М. Р. Курмангалиев, В. Г. Некрасов // Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – 1970. – Вып. 6. – С. 106–111.

Kurmangaliyev, M.R., Nekrasov, W.G. (1970), "Aerodynamics model cyclone chamber to the upper input and output gas under isothermal conditions" ["Aerodynamika modeli tsykloinoi kamery z verkhnim vvodom ta vyvodom haziv v izotermichnykh umovakh"], *Problems of power engineering and applied Thermophysics*, No. 6, pp. 106-111.

Якуба Олександр Родіонович, д-р техн. наук, проф., кафедра інженерних технологій харчових виробництв, Сумський національний аграрний університет. Адреса: вул. Г. Кондрат'єва, 160, м. Суми, Україна, 40021.

Якуба Александр Родионович, д-р техн. наук, проф., кафедра инженерных технологий пищевых производств, Сумской национальной аграрный университет. Адрес: ул. Г. Кондратьева, 160, г. Сумы, Украина, 40021.

Yakuba Alexander, Doctor of technical Sciences, Professor, Department of Engineering and technology of food manufactures, Sumy national agrarian University. Address: G. Kondratiev, str. 160, Sumy, Ukraine, 40021.

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

Савченко-Перерва Марина Юрьевна, ассист., 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 д-ром техн. наук, проф. В.О. Потаповим.
Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 664.6/.7:621.926

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИХОДУ БОРОШНА ВІД ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОМОЛЬНОГО МОДУЛЯ

Ю.І. Токолов, П.В. Гурський, О.В. Богомолов, М.І. Домніч

У ході експериментальних досліджень обдирного процесу подрібнення зерна пшениці на експериментальній установці визначено залежності виходу борошна від частоти обертання робочих органів і кількості точок контакту зернового матеріалу з подрібнювальними вальцями.

Ключові слова: борошно, подрібнення, частинка, вальці.

© Токолов Ю.І., Гурський П.В., Богомолов О.В., Домніч М.І., 2015