

**Самойчук К.О.**

к.т.н., доцент

**Паляничка Н.О.**

к.т.н., старший викладач

**Верхоланцева В.О.**

к.т.н., старший викладач

**Таврійський  
державний  
агротехнологічний  
університет****Янович В.П.**

к.т.н., доцент

**Вінницький  
національний  
аграрний  
університет****Samoichuk K.****Palyanichka N.****Verkholtantseva V.****Tavria State****Agrotechnological  
University****Yanovych V.****Vinnitsia National****Agrarian University****УДК 637.134****ВІБРАЦІЙНІ ГОМОГЕНІЗАТОРИ  
МОЛОКА**

*Виділено визначальний фактор гідродинамічного диспергування молочної емульсії – прискорення потоку, з огляду на що обрано 2 конструкції ефективних апаратів для гомогенізації. Визначені переваги вібраційних гомогенізаторів для використання в молочній промисловості: імпульсного та роторно-пульсаційного апарату з ротором, що вібрує. Описано принцип гомогенізації та конструкції таких апаратів. Проведені експериментальні дослідження визначення дисперсності молочної емульсії доводять високу ступінь кореляції (більше 92%) між середнім розміром жирової кульки молока та прискоренням потоку емульсії. Питомі енерговитрати розроблених гомогенізаторів 3–4 кВт·год/т в 2 рази менше за клапанний гомогенізатор при однакових значеннях дисперсності молочної емульсії.*

**Ключові слова:** гомогенізація, гомогенізатор, диспергування молока, пульсаційний апарат, імпульсна гомогенізація, роторно-пульсаційний апарат.

**Постановка проблеми.** Важливим напрямом підвищення конкурентоспроможності вітчизняної харчової промисловості в сучасних умовах диверсифікації географії експорту молочних продуктів є зниження собівартості їх виробництва. Нормативною технологічною операцією переробки молока є гомогенізація. Переваги гомогенізованих продуктів полягають у поліпшенні смакових і сенсорних властивостей, збільшення засвоюваності, підвищенні строків зберігання, покращенні консистенції та кольору і багато інших є очевидними. Але енерговитрати цього процесу є одними з найвищих серед технологічних процесів молокопереробних підприємств і сягають 8 кВт·год/т [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основною проблемою створення високоефективних гомогенізаторів є відсутність єдиної теорії диспергування дрібнодисперсної жирової емульсії. Аналіз існуючих гіпотез і

механізмів руйнування жирових кульок молока [1, 2, 3] свідчить про те, що універсальним критерієм деформації і руйнування жирової кульки є критерій Вебера. За цим критерієм діаметр кульки зворотно пропорційний квадрату швидкості її ковзання відносно оточуючої плазми. Але розрахувати швидкість ковзання для більшості типів гомогенізаторів – складна задача. Пропоновані методи її вирішення полягають у заміні швидкості ковзання жирової частки на швидкість потоку рідини, що не відображає суті явища [3, 4] (рис. 1 а). Диспергування здійснюється лише при раптовій зміні швидкості потоку, що визначається прискоренням потоку емульсії. При появі прискорення, за рахунок різниці густини між нею та оточуючою плазмою, виникають інерціальні сили, які змушують жирові краплі рухатись з відмінною від дисперсійного середовища, швидкістю (рис. 1 б).

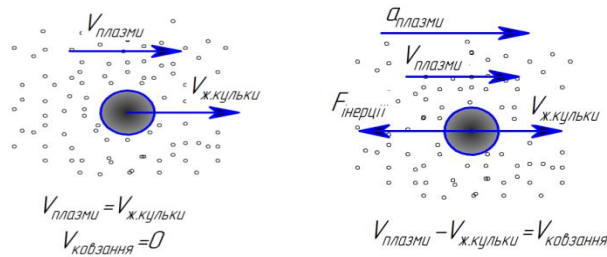


Рис. 1. Поява «ковзання» жирової кульки при русі емульсії з прискоренням: а) рух емульсії з постійною швидкістю, б) рух емульсії з прискоренням

При цьому фактор прискорення обіцяє бути більш універсальним показником для багатьох типів гомогенізаторів, завдяки якому можливо створювати конструкції високоефективних апаратів з низькими енерговитратами [5].

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Крім організації руху молочної емульсії з високим прискоренням, одним з ефективних способів зниження споживання енергії є накладання механічних коливань на оброблюване середовище. В результаті дисипація потужності відбувається рівномірно у всьому об'ємі емульсії, що дозволяє уникнути застійних зон і покращити дисперсний склад емульсії.

Впровадження коливної дії дозволяє забезпечити високоактивний керований стан технологічних режимів обробки рідкої фракції, а як наслідок підвищити ефективність протікання гідродинамічного диспергування сировини за умови значного енергетичного потенціалу даного процесу. Тому, до основних перспективних напрямків розробки технологічних машин для гомогенізації є:

- інтенсифікація процесу міжфракційного розподілу часток сировини;
- вплив коливної дії на оброблюваний матеріал;
- використання явища синхронізації власної та вимушеної частоти коливної системи.

Для створення високого прискорення емульсії ефективними конструкціями гомогенізаторів є імпульсний (пульсаційний) та

роторно-пульсаційні апарати.

Запропоноване конструкційне рішення завдяки частотній синхронізації коливної дії ротора та оброблюваного рідкого матеріалу дозволяє забезпечити енергонасичну обробку емульсії за умови резонансного режиму роботи гомогенізатора.

Отже, виділено 3 способи підвищення ефективності процесу гомогенізації молока, яким відповідають 2 перспективні та не достатньо досліджені конструкції диспергаторів: імпульсний і пульсаційний з ротором що вібрує, які основані на вібрації робочих органів і здатні суттєво знизити енерговитрати процесу гомогенізації молока [4, 5, 6].

**Формування мети дослідження**

Визначити ефективність (енерговитрати та дисперсний склад молочної емульсії) імпульсного та роторно-пульсаційного апарату з ротором, що вібрує для гомогенізації молока.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Принцип дії роторно-пульсаційного апарату полягає у періодичному перекритті отворів ротора і статора, внаслідок чого рух рідини стає нестационарним, виникають значні знакозмінні пульсації, високий градієнт швидкості у зазорі між ротором і статором і пульсуюча кавітація (рис. 2 а). При накладанні додаткових коливань за рахунок вібруючого ротора розподілення енергії стає рівномірним і внаслідок узгодження коливань ротора з перекриттям отворів, створюється резонанс пульсацій, що додатково підвищує ефективність процесу [6].

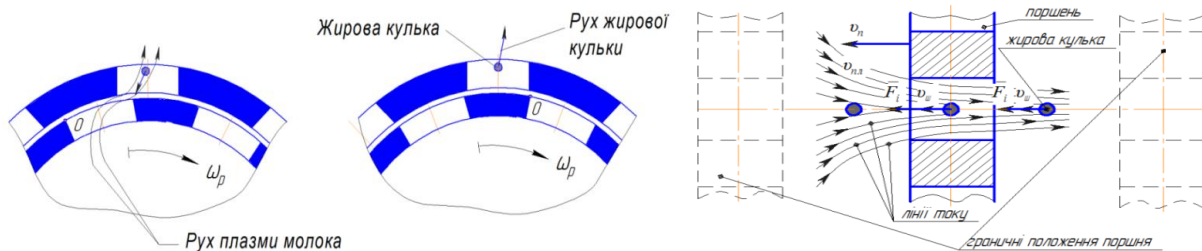
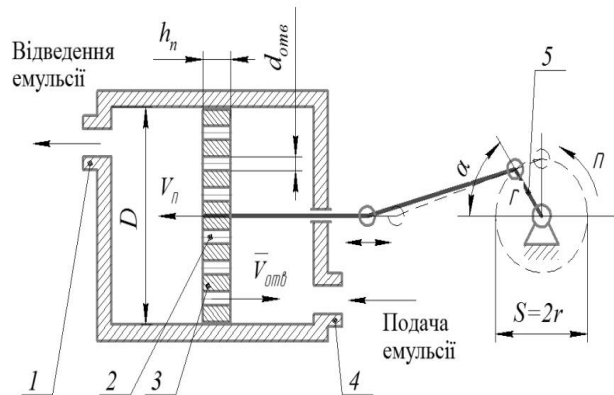


Рис. 2. Принцип гомогенізації: а) у імпульсному апарат, б) у пульсаційному гомогенізаторі з ротором, що вібрує.



Імпульсний гомогенізатор складається з поршня з отворами, який здійснює коливальні рухи за рахунок кривошипного механізму у камері, у яку подається продукт (рис. 2 б). Це досить проста конструкція, яка дозволяє отримати рівномірну дисипацію потужності по перетину робочої камери (рис. 3). Знакозмінні

пульсації емульсії сприяють високому прискоренню потоку. Незалежність подачі продукту дозволяє легко регулювати кратність проходження об'єму емульсії крізь отвори поршня, що додатково підвищує ефективність обробки [4, 5].



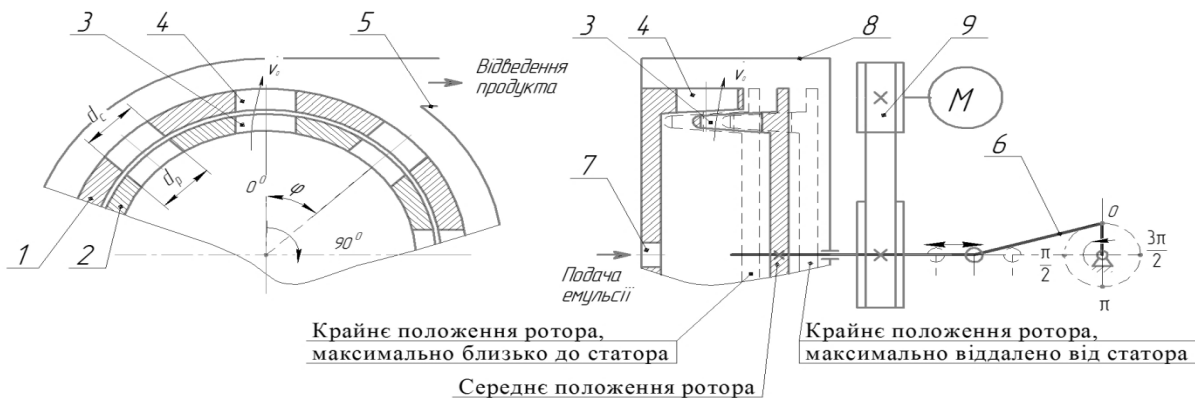
**Рис. 3. Схема імпульсного гомогенізатора**

1 – патрубок для відведення емульсії; 2 – отвори поршня; 3 – поршень; 4 – патрубок подачі емульсії; 5 – регульований кривошип.

$V_n$  – швидкість поршня;  $V_{отв}$  – швидкість емульсії в отворах поршня;  $d_{отв}$  – діаметр отворів;  $D$  – діаметр камери;  $r$  – радіус кривошипа;  $\alpha$  – кут повороту кривошипа;  $h_n$  – товщина поршня;  $S$  – амплітуда

коливання поршня.

В пульсаційному апараті з вібруючим ротором здійснюється обертання ротора та перекриття отворів переривника і коливання ротора вздовж вісі обертання (рис. 4).



**Рис. 4. Схема роторно-пульсаційного гомогенізатора з ротором, що вібрує**

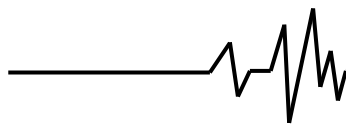
1 – статор, 2 – ротор, 3 – отвори ротора, 4 – отвори статора, 5 – патрубок відводу продукту, 6 – кривошипний механізм приводу вібрації ротора, 7 – патрубок подачі продукту, 8 – корпус, 9 – привід обертання ротора.

Основним критерієм при проектуванні типових РПА (роторно-пульсаційний апарат) вважають створення високоінтенсивної кавітації. При цьому зони кавітації охоплюють лише частину об'єму емульсії. Для підвищення рівномірності дисперсного складу в РПА необхідне використання багатократної обробки, що знижує продуктивність такого апарату.

В даному типі РПА використано принципово нову методику розрахунку, спрямовану на досягнення максимального

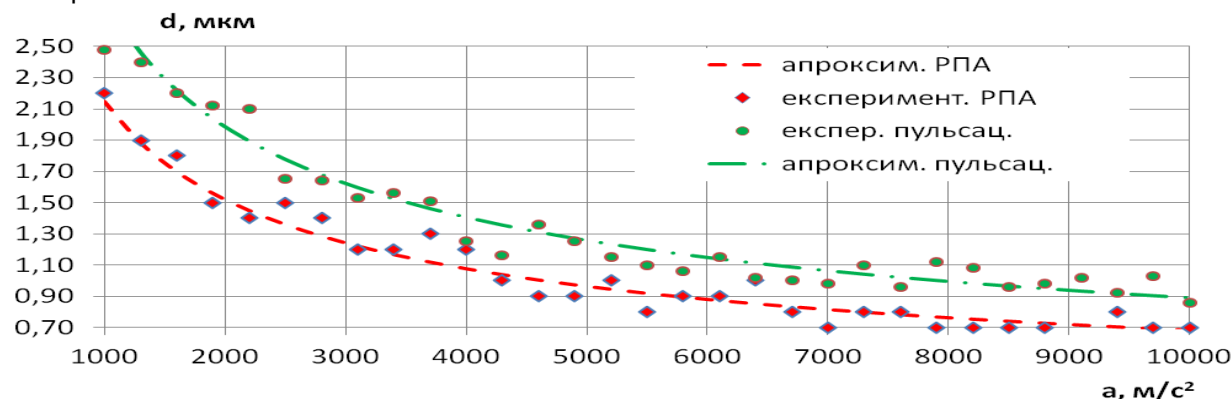
прискорення потоку емульсії. Це дозволяє знизити кратність обробки, а отже підвищити продуктивність і питомі енерговитрати та позбутися недоліків рівномірності дисперсного складу продукту.

Проведені аналітичні дослідження дозволили побудувати модель гомогенізації і встановити основні залежності, що пов'язують енергетичні, якісні та технологічні показники з кінематичними та конструкційними факторами трьох дослідних типів пристроїв [4–6].



При експериментальних дослідженнях дисперсні показники молочної емульсії оцінювали комп'ютерним аналізом мікрофотографій проб молока, отриманих за допомогою оптичного мікроскопа та цифрової камери.

Результати визначення дисперсності молока після обробки в імпульсному і пульсаційному гомогенізаторах свідчать про чітку залежність середнього розміру жирових кульок від прискорення потоку (рис. 5).



**Рис. 5. Результати визначення залежності середнього діаметру жирової кульки молока d, мкм від прискорення a, м/с<sup>2</sup> у роторно-пульсаційному та імпульсному гомогенізаторах**

Коефіцієнт детермінації показує відхилення не більше 6-8%. Характер функції – статичний, характерний для клапанної гомогенізації. При підвищенні інтенсивності впливу, темпи збільшення дисперсності знижуються.

Порівнюючи залежності дисперсності від прискорення емульсії для імпульсної та роторно-пульсаційної гомогенізації можна побачити, що незважаючи на різний тип

конструкції, характер залежності однаковий. Обробка у роторно-пульсаційному апараті більш ефективна. Це пояснюється додатковою дією вібрації та резонансних явищ на оброблюване середовище.

Питомі енерговитрати визначали для дисперсності, що відповідає середньому розміру жирової кульки 0,85 мкм. Результати представлені у таблиці 1.

**Таблиця 1.**

**Порівняльна характеристика гомогенізаторів**

Тип гомогенізатора		Мінімальний розмір часток після гомогенізації, мкм	Питомі енерговитрати, кВт·год/т
Промислові	Клапанний А1-ОГ2М-2,5	0,7	7,4
	Роторно-пульсаційний А1-РПА(Е)	0,8	4,0
Розроблені	Роторно-пульсаційний з ротором, що вібрує	0,7 и менше	3,5-4,0
	Імпульсний	0,7 и менше	3,0-3,4

Порівняльна характеристика розроблених пристроїв для гомогенізації молока з промисловими апаратами доводить, що при підвищених якісних характеристиках молочної емульсії, розроблені машини мають енерговитрати у 2–3 рази менші за клапанний. При цьому вартість розроблених машин прогнозується у 3-4 рази менше за клапанні.

**Висновки.** Для вібраційних гомогенізаторів молока (імпульсних і пульсаційних) універсальним фактором

диспергування молочної емульсії є прискорення руху потоку емульсії.

Результати експериментального визначення енерговитрат та ступеня дисперсності емульсії молока для розроблених імпульсного та роторно-пульсаційного апарату з ротором, що вібрує свідчать, що при якісних характеристиках гомогенізації на рівні клапанних (еталонних на сьогодні) енерговитрати процесу майже в 2,5 рази менші за клапанні гомогенізатори.

**Список використаних джерел**

1. Нужин Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы /Е.В. Нужин, А.К. Гладушняк. Монография – Одесса: Печатный дом, 2007. – 264 с.
2. Орешина М. Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Н. М. Орешина. – М., 2010. – 50 с.
3. Паляничка Н.О. Вдосконалення процесу імпульсної гомогенізації молока: автореф. канд... техн. наук: 05.18.12 / Н.О. Паляничка. – Мелітополь, 2013. – 20 с.
4. Самойчук К.О. Аналітичні дослідження умов диспергування жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі/ К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету: Дніпропетровськ – 2016. – №1 (39). – С. 64–67.
5. Дейниченко Г.В. Аналітичні дослідження енерговитрат пульсаційного гомогенізатора молока/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. Наукові праці ХДУХТ: Харків – 2016. – Вип.1 (23) – С. 170-181.
6. Самойчук К.О. Ефективність гомогенізації молока в пульсаційному апараті з віброуючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Харків – 2015. – Вип. 166.– С. 98 – 104.

**Список джерел в транслітерації**

1. Nuzhin E.V. Gomogenizatsiya i gomogenizatoryi /E.V. Nuzhin, A.K. Gladushnyak. Monografiya – Odessa: Pechatnyiy dom, 2007. – 264 P.
2. Oreshina M. N. Impul'snoe dispergirovanie mnogokomponentnyh pishchevyh sistem i ego apparatnaya realizaciya: avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk: 05.18.12 / N. M. Oreshina. – M., 2010. – 50 P.
3. Palyanychka N.O. Vdoskonalennya protsesu impul'snoyi homohenizatsiyi moloka: avtoref. kand... tekhn. nauk: 05.18.12 / N.O. Palyanychka. – Melitopol', 2013. – 20 P.
4. Samoichuk K.O. Analitychni doslidzhennia umov dysperhuvannia zhyrovoy fazy moloka v pulsatsiinomu homohenizatori/ K.O. Samoichuk, L.V. Levchenko// Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarno-ekonomichnoho universytetu: Dnipropetrovsk – 2016. – №1 (39). – P. 64–67.
5. Deinychenko H.V. Analitychni doslidzhennia enerhovytrat pulsatsiinoho

homohenizatora moloka/ H.V. Deinychenko, K.O. Samoichuk, L.V. Levchenko// Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli. Naukovi pratsi KhDUKht: Kharkiv – 2016. – Vyp.1 (23) – P. 170-181.

6. Samoichuk K.O. Efektyvnist homohenizatsii moloka v pulsatsiinomu aparati z vibruiuchym rotorom/K.O. Samoichuk, A.O. Ivzhenko// Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka: Kharkiv – 2015. – Vyp. 166.– P. 98 – 104.

**ВИБРАЦИОННЫЕ ГОМОГЕНИЗАТОРЫ  
МОЛОКА**

*Выделен определяющий фактор гидродинамического диспергирования молочной эмульсии – ускорение потока, на основе чего выбраны 2 конструкции эффективных аппаратов для гомогенизации. Определены преимущества вибрационных гомогенизаторов для использования в молочной промышленности: импульсного и роторно-пульсационного аппарата с вибрирующим ротором. Описан принцип гомогенизации и конструкции таких аппаратов. Проведенные экспериментальные исследования определения дисперсности молочной эмульсии доказывают высокую степень корреляции (более 92%) между средним размером жирового шарика молока и ускорением потока эмульсии. Удельные энергозатраты разработанных гомогенизаторов 3-4 кВт·час/т в 2 раза меньше клапанного гомогенизатора при одинаковых значениях дисперсности молочной эмульсии.*

**Ключевые слова:** гомогенизация, гомогенизатор, диспергирование молока, пульсационный аппарат, импульсная гомогенизация, роторно-пульсационный аппарат.

**OSCILLATION HOMOGENIZERS OF MILK**

**Annotation.** The determinative of the hydrodynamic dispergating of milk emulsion - acceleration of stream has been distinguished. On its basis 2 designs of effective machines for homogenization were selected. We pointed out advantages of oscillation homogenizers to use in milk industry: impulsive and pulsation machine with a vibrating rotor. Principle of homogenization and design of such machines have been described. The conducted experimental researches determining dispersion of milk emulsion prove high degree of correlation (more than 92%) between the average size of milk fat



globule and acceleration of stream emulsion. Specific energy consumption of the designed homogenizers 3-4 kW·h/t is 2 times less than in valve homogenizer at the identical values of

dispersion of milk emulsion.

**Keywords:** homogenization, homogenizer, dispergating of milk, pulsation machine, impulsive homogenization, rotor-pulsation machine.

#### **Відомості про авторів**

**Самойчук Кирило Олегович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика» Таврійського державного агротехнологічного університету» (пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312, e-mail: samoichuk.k@ukr.net).

**Паляничка Надія Олександрівна** – канд. техн. наук, старший викладач кафедри «Обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика» Таврійського державного агротехнологічного університету» (пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312, e-mail: palyanichkan@gmail.com).

**Верхоланцева Валентина Олександрівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика» Таврійського державного агротехнологічного університету» (пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312, e-mail: wer.valentina@gmail.com).

**Янович Віталій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, E-mail: yanvichvitaliy@i.ua).

**Самойчук Кирилл Олегович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудования перерабатывающих и пищевых производств имени профессора Ф. Е. Ялпачика» Таврического государственного агротехнологического университета (пр. Б. Хмельницкого 18, г. Мелитополь, Украина, 72312, e-mail: samoichuk.k@ukr.net).

**Паляничка Надежда Александровна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Оборудования перерабатывающих и пищевых производств имени профессора Ф. Е. Ялпачика» Таврического государственного агротехнологического университета (пр. Б. Хмельницкого 18, г. Мелитополь, Украина, 72312 e-mail: palyanichkan@gmail.com).

**Верхоланцева Валентина Александровна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Оборудования перерабатывающих и пищевых производств имени профессора Ф. Е. Ялпачика» Таврического государственного агротехнологического университета (пр. Б. Хмельницкого 18, г. Мелитополь, Украина, 72312, e-mail: wer.valentina@gmail.com).

**Янович Виталий Петрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств, Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, E-mail: yanvichvitaliy@i.ua).

**Samoichuk Kyrylo** – PhD, Associate Professor of the Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik of the Tavria State Agrotechnological University (18 B. Khmelnistkiy Avenue, Melitopol, Ukraine, 72312 e-mail: samoichuk.k@ukr.net).

**Palyanychka Nadiia** – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik of the Tavria State Agrotechnological University (18 B. Khmelnistkiy Avenue, Melitopol, Ukraine, 72312 e-mail: palyanichkan@gmail.com).

**Verkholantseva Valentyna** – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik of the Tavria State Agrotechnological University (18 B. Khmelnistkiy Avenue, Melitopol, Ukraine, 72312 e-mail: wer.valentina@gmail.com).

**Yanovych Vitaliy** – PhD, Associate Professor Department of processes and equipment for remaking and food production Vinnytsia National Agrarian University (Soniachna str., 3, Vinnitsa, Ukraine, 21008, E-mail: Yanovichvitaliy@i.ua).