

УДК 664.643.1

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ВІБРОГВИНТОВОГО ДЕФІБРИНАТОРА

**Паламарчук І. П.**, д.т.н.

*професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID ID 0000-0002-0441-6586

**Василів В. П.**, к.т.н., доцент

*доцент кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID ID 0000-0002-2109-0522

**Іволга А. Р.**, студентка

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID ID 0000-0001-9485-6720

**Кос Т. С.**, к.т.н., с.н.с.

*Відділ технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів*

*Інституту продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна*

ORCID ID 0000-0002-1158-0763

<https://doi.org/10.31073/foodresources2019-13-13>

Кров, як харчова сировина, широко застосовується у харчових, фармацевтичних та інших переробних виробництвах при виготовленні гематогену, технічного альбуміну для виробництва висококалорійних інгредієнтів кормів, лікувально-поживних білкових продуктів, ковбасно-кулінарних виробів, м'ясних і рослинних консервів, кондитерській і хлібопекарській промисловості як заміник яєчного білка. Світлий альбумін отримують при висушуванні у розпилюючих сушарках харчової плазми або сироватки крові. Чорний альбумін виробляють за тепломасообмінної обробки стабілізованої або дефібринованої цільної харчової крові. Вміст у крові фібриногену, ферменту тромбокінази і солей кальцію призводить до виникнення ферментативного процесу, у результаті якого має місце перетворення розчиненого в плазмі фібриногену у фібрин. Наявність останнього викликає труднощі при подальшій переробці даної харчової сировини. Дефібринатори являють собою гідромеханічні мішалки інтенсивної дії для обробки продукції з невисокою динамічною в'язкістю (до 10 Па·с). Серед таких перемішувачів пристроїв можна відзначити пропелерні, дискові мішалки з похилою віссю обертання; з насадженими лопатями, бічні краї якої загнуті у протилежні сторони; чотирипелюсткові лопаті, які створюють протилежні потоки рідини, що сприяє розриванню згустків у рідинній масі. Унікальні можливості вібраційної дії дозволяють успішно виконувати такі операції як сепарацію, перемішування, гомогенізацію, подрібнення за важких умов експлуатації, що зумовлює перспективи застосування такого впливу при дефібринації крові. Обґрунтована конструктивна схема мішалки, що поєднує вібраційну та відцентрову дію на рідкі технологічні маси. Проведена оцінка основних силових параметрів процесу вібраційного перемішування. Порівняльний теоретичний аналіз техніко-економічних показників типової та розробленої схем мішалок виявив ефективність проекрованої машини.

**Ключові слова:** дефібринація крові; вібраційне перемішування, гвинтові лопаті; вібробуджувач

# TECHNICAL AND ECONOMICAL SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTION SCHEME OF THE VIBRO DEFIBRINATOR

**Palamarchuk Igor, PhD., Professor**

*Department of Processes and Equipment for Processing of Agricultural Products*  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID 0000-0002-0441-6586

**Vasylyiv Volodimir, PhD, Associate Professor**

*Department of Processes and Equipment for Processing of Agricultural Products*  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID 0000-0002-2109-0522

**Ivolga Anastasia, Student**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID 0000-0001-9485-6720

**Tetiana Kos, PhD**

*Senior Researcher of Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients*  
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID 0000-0002-1158-0763

<https://doi.org/10.31073/foodresources2019-13-13>

*Blood as a food raw material is widely used in food, pharmaceutical and other processing industries in the production of hematogen, technical albumin for the production of high-calorie ingredients of feeds, medicinal and nutritional protein products, sausage and culinary products, meat and vegetable preserves, confectionery and bakery egg white substitute. Light albumin is obtained by drying in a food plasma spray dryer or serum. Black albumin is produced by heat-exchange treatment of stabilized or defibrinated whole food blood. The content of fibrinogen, thrombokinase enzyme and calcium salts in the blood leads to the emergence of an enzymatic process, which results in the conversion of fibrinogen dissolved in plasma into fibrin. The presence of the latter causes difficulties in the further processing of this raw material. Defibrillators are high-performance hydromechanical stirrers for processing low dynamic viscosity products (up to 10 Pa · s). Among such stirring devices are the propeller, disc stirrers with an inclined axis of rotation; with the planted blades, the lateral edges of which are bent in opposite directions; four-bladed blades that create opposite streams of fluid, helping to break the clots in the liquid mass. The unique possibilities of vibration action allow to perform successfully such operations as separation, mixing, homogenization, grinding under severe conditions of operation, which determines the prospects of such impact in blood defibrination. The design scheme of the mixer, which combines vibration and centrifugal action on liquid process masses, is substantiated. The main power parameters of the vibration mixing process were evaluated. Comparative theoretical analysis of the technical and economic indicators of typical and developed schemes of stirrers revealed the effectiveness of the designed machine.*

**Keywords:** blood defibrination; vibration mixing, screw blades; vibrator

**Вступ.** Вміст у крові фібриногену, ферменту тромбокінази і солей кальцію призводить до виникнення ферментативного процесу, у результаті якого має місце перетворення розчиненого в плазмі фібриногену у фібрин. Дані речовини у вигляді тонких еластичних ниток створюють сітку, в петлях якої утримуються складові крові, що утворюють кров'яний згусток. Наявність останнього при подальшій переробці даної харчової сировини викликає труднощі при сушінні внаслідок забивання прецизійних пар устаткування, погіршує якість отриманої продукції. Для запобігання таких явищ реалізують процеси стабілізації та дефібрінації.

Стабілізують кров для затримання її згортання протягом декількох діб, для подальшого розподілу крові на фракції та отримання світлої плазми. Серед препаратів для здійснення даного процесу найбільш ефективними є розчин тринатрійпірофосфату, кухонну сіль 2,5-3,0% до її маси або насичений розчин солі (80-90 мл на 1 л крові) [1, 2].

За процесу дефібринування, що полягає у розбиванні згустків крові при перемішуванні, видаляється 0,1-0,6% білка – фібрину [2]. Проблеми реалізації даного процесу полягають у низькій степені його механізації, недостатній ефективності одночасного перемішування та дроблення часток рідкого технологічного середовища за допомогою відомих пропелерних та лопатевих мішалок.

**Аналіз останніх досліджень.** Представлені виконавчі органи мішалок характеризуються достатньо складною формою робочої поверхні, високою ефективністю перемішування тільки за певними напрямками потоку або поблизу обертових елементів, що часто є недостатнім при необхідності поєднання процесів перемішування та подрібнення.

Процес змішування компонентів з різними фізико-механічними властивостями реалізується переважно за рахунок створення зсувних деформацій у всій масі продукту за допомогою лопатей, шнеків, які обертаються, або інших робочих органів. Водночас, для забезпечення рівномірного розподілу компонентів часткам дисперсної маси необхідно надати такі траєкторії, які забезпечували б найбільшу вірогідність їх перетину. Саме дія коливного робочого органа спричиняє як загальну циркуляцію завантаженої маси, так і відносно хаотичне переміщення компонентів суміші, що призводить до послаблення сил зчеплення між частками технологічного середовища, руйнування утворених конгломератів, зміни реологічних характеристик матеріалу – в'язкості, модуля зсуву, ефективного коефіцієнта тертя, сил адгезійного зчеплення тощо. При цьому спостерігається поява додаткових ефектів: руйнування зерен матеріалів, коагуляційних структур, звільнення додаткових поверхонь, колоїдний помел, збільшення диспергування компонентів системи [1, 2, 3, 4].

Дані заходи відзначаються як високою ефективністю перемішування, так і достатньо складним виконанням робочих органів, наявністю «застійних зон» у робочій ємкості та порівняно високими енерговитратами на процес. Для запобігання даного явища доцільно застосовувати в місці «застійної зони» активні або пасивні турбулізатори суміш у вигляді дисків, тарілок, конусів, насадок, поверхня яких виконується, як правило, перфорованою, що дозволяє у 2..3 рази скоротити протяжність обробки [5, 6]. Додаткові перемішуючі елементи створюють у робочій камері місцеві віхреві потоки, що сприяють активізації дифузійних процесів, підвищення площі поверхні, що передає технологічному середовищу робочі імпульси та відповідно інтенсифікації процесу перемішування. Проте складність конструктивного виконання, прискорене поглинання силових імпульсів у рідкому середовищі обмежують застосування даних конструкцій у досліджуваному процесі.

Метою роботи передбачено довести ефективність застосування віброімпульсних ефектів у процесах перемішування та подрібнення в умовах рідинного технологічного середовища невисокої динамічної в'язкості, зокрема, при дефібринації крові.

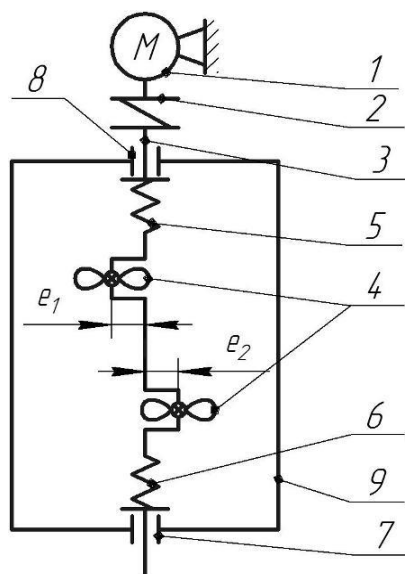
Виклад основного матеріалу:

#### *1. Узагальнення напрямку застосування і дослідження*

У науковій роботі пропонується застосувати для реалізації досліджуваного процесу центральне розташування джерела вібрації, що дає можливість більш ефективно передавати коливальні імпульси моношарам технологічного завантаження, практично виключає утворення «застійних зон» у масі завантаження. При цьому коливання робочої камери відбуваються по круговій траєкторії, що сприяє більш активному, у порівнянні з винесеною схемою вібробудження, перемішуванню матеріалу продукції. Кінематичний спосіб вібробудження у розробленій схемі вібромішувача дозволяє у 2...3 рази зменшити коливальні маси у системі, що опосередково та пропорційно зменшує енерговитрати на

процес перемішування. Пружна система опорних вузлів дозволяє ефективно нівелювати паразитні коливання, що істотно підвищує надійність проектного устаткування [7, 8].

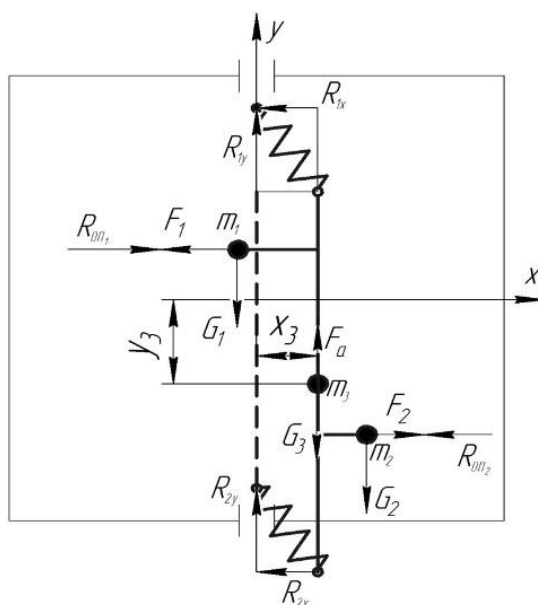
2. *Опис розробки.* Основними конструктивними елементами проектного устаткування для дефібрації крові [9] є двигун 1 (рис. 1), який через пружну муфту 2 та пружний елемент 5 передає крутний момент на приводний ексцентриковий вал 3; судину або робочу ємкість 9, гвинтових лопатевих мішалок 4, які ексцентрично розміщуються на приводному валу. Мішалки монтуються опозитно одна одній, що дозволяє їм виконувати функції протигага для нівелювання небажаних інерційних сил, які виникають при обертанні гвинтових лопатей. Приводний вал опирається на підшипникові вузли 7, 8. Наявність пружних елементів 5, 6 дозволяє реалізувати відновлювальну механічну дію в умовах примусових коливань при обертанні ексцентричних мас. Таким чином, розроблена технічна система дозволяє здійснювати механічні плоскі коливання при забезпеченні достатньо високих параметрів надійності.



**Рис. 1. Принципова схема вібровідцентрової установки для дефібрації крові:**

1 – двигун; 2 – пружна муфта; 3 – приводний ексцентриковий вал; 4 – гвинтові або пропелерні мішалки; 5, 6 – пружні елементи приводного валу; 7, 8 – опорні підшипникові вузли приводного валу; 9 – робоча ємність;  $e_1 = e_2$  ексцентриситети приводного валу

3. *Визначення основних параметрів машини.* При здійсненні технологічного руху серед активних силових факторів можна відзначити крутні моменти  $M_{кр1}$  та  $M_{кр2}$ , які виникають при обертанні приводного валу з кутовою швидкістю  $\omega$ ; відцентрові або збурювальні сили  $F_1$  та  $F_2$ , що утворюються при обертанні ексцентрично розташованих гвинтових лопатей. Виконання функцій протигага самими гвинтовими лопатями дозволяє не менш як удвічі зменшити коливні маси системи та відповідно енерговитрати приводного механізму. До реактивних силових факторів проектного системи можна віднести пружні сили  $R_x$  та  $R_y$  (рис. 2), які виконують відновлювальні функції у коливальному процесі; архімедову силу  $F_a$ ; сили опору рідкого середовища при обертанні лопатей  $R_{on1}$  та  $R_{on2}$ ; моменти опору  $M_{on1}$  та  $M_{on2}$ , що утворюються за дії крутних моментів  $M_{кр1}$  та  $M_{кр2}$ . Жорсткості пружних елементів за лінійних переміщень приводного валу  $C_x$  та  $C_y$ , а також його кутових рухів  $C_{\phi1}$  та  $C_{\phi2}$  забезпечують необхідні амплітудно-частотні характеристики виконавчих органів системи.



**Рис. 2. Розрахункова схема коливальної системи при вертикальному  $y_3$  та горизонтальному  $x_3$  переміщенні:**  $R_{1x}$ ,  $R_{1y}$ ,  $R_{2x}$ ,  $R_{2y}$  – складові пружної сили відносно осей координат;  $R_a$  – архімедова сила;  $R_{оп1}$ ,  $R_{оп2}$  – сили опору рідкого середовища при обертанні гвинтових мішалок;  $x_3$ ,  $y_3$  – лінійні зміщення центра ваги приводного валу (маса  $m_3$ ) відносно осей координат

При подальшому теоретичному аналізі використовуємо наступні припущення:

$$F_1 = F_2 = F; R_{оп1} = R_{оп2}; R_{1x} = R_{2x} = R_x; R_{1y} = R_{2y} = R_y; F_a \approx 0 \quad (1)$$

Використовуючи метод Даламбера та розроблені розрахункові схеми (рис. 1, 2), складаємо рівняння руху за лінійними переміщеннями

$$(F_2 - R_{оп2}) - (F_1 - R_{оп1}) - R_{1x} - R_{2x} = m_0 \ddot{x} \quad (2)$$

$$R_{1y} + R_{2y} - G_1 - G_2 - G_3 + F_a = m_0 \ddot{y} \quad (3)$$

Моменти сил, що діють у досліджуваній системі, складають

$$M_{кр1} - M_{кр2} - C_\varphi \cdot \varphi - M_{оп1} - M_{оп2} = m_0 \ddot{\varphi} \quad (4)$$

де  $M_{кр}$  – крутий момент при обертанні лопатей мішалок;  $M_{оп}$  – момент опору пружних елементів;  $C_\varphi$  – жорсткість пружного елемента при обертотому русі приводного валу

При цьому  $M_{кр1} = F_1 \cdot d = m_1 e \omega^2 \sin \omega t \cdot d$  та відповідно  $M_{кр2} = m_2 e \omega^2 \sin \omega t \cdot d$   
 $d$  – діаметр приводного валу;  $\omega$  – кутова швидкість обертання приводного валу;  
 $e$  – ексцентриситет приводного валу.

Момент від згинальних сил, що діють у системі складає

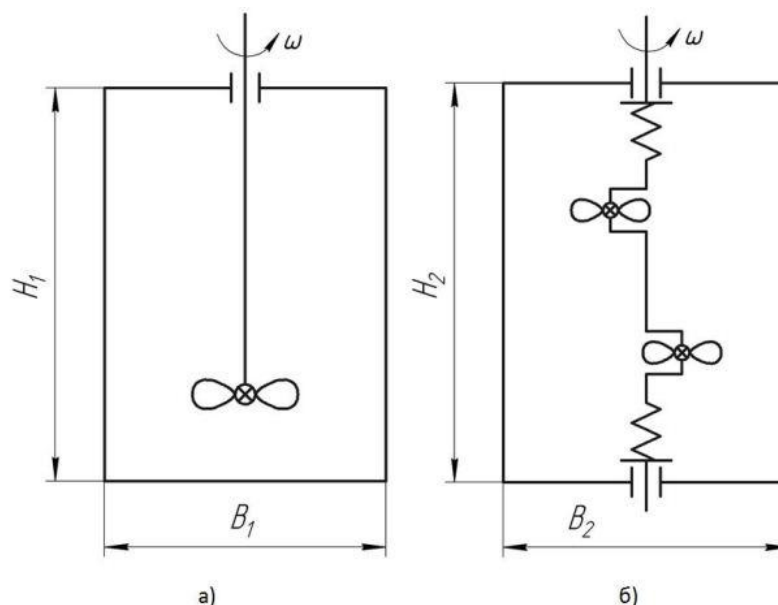
$$M_{зг} = (F - R_{оп})a + R_y \cdot b \quad (5)$$

Навантаження на опорні вузли знаходимо як  $P = \lambda \cdot F_{\max}$ ;  $\lambda = \frac{m_\kappa}{m_{об}}$  – коефіцієнт, що

враховує співвідношення коливних  $m_\kappa$  та обертотих мас  $m_{об}$ : для досліджуваної системи  $m_\kappa = m_{об} \Rightarrow \lambda = 1$ ;  $F_{\max}$  – максимальна збурювальна сила у системі, яку знаходимо із наступних міркувань:  $F_1 = F_2 = F = m_1 e \omega^2 \sin \omega t = m_2 e \omega^2 \sin \omega t$

#### 4. Оцінка техніко-економічної ефективності розробок.

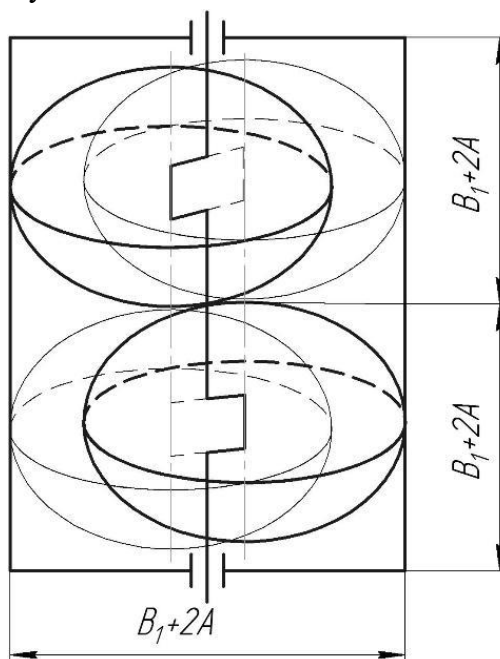
Для даної оцінки здійснюємо порівняльний аналітичний аналіз існуючої та проектованої схем обладнання (рис 3).



**Рис. 3. Принципові схеми мішалок:**  
а – існуючої; б – проектованої

Очевидно, що для ефективної роботи існуючої мішалки (рис 3, а) необхідно забезпечити достатню інтенсивність обробки по ширині  $B_1$  судини. Зважаючи на дану умову, найбільш ефективне перемішування має місце при  $B_1 = H_1$ . Тому повздовжня площа базової судини становить  $S_1 = H_1 \cdot B_1 = B_1^2$

Для проектованої мішалки (рис 3, б) центр обертання кожної лопаті описує сфероїд з радіусом, що дорівнює амплітуді коливань  $\Delta = e \sin \omega t$



**Рис. 4. Об'єм активації перемішуючої дії для проектованої мішалки**

Очевидно, що при обертанні лопаті зона перемішуючої дії складає еліпс обертання або еліпсоїд. Приймаючи, що об'єм активації даної перемішуючої дії є рівномірним за всіма напрямками при врахуванні особливостей криволінійної поверхні лопаті, то даний об'єм також спостерігається у формі еліпсоїда (рис. 4).

Враховуючи припущення для ефективної перемішуючої дії, що було представлено вище для базової мішалки, особливості вібровідцентрового руху проекрованої мішалки дозволяють отримати об'єм активації та повздовжню площу судини з проекрованої мішалкою, що складає

$$S_2 = (2B_1 + 4A) \cdot (B_1 + 2A) = B_1 (2B_1 + 8A) \quad (5)$$

Очевидно, що продуктивність представлених мішалок є пропорційна повздовжній площі відповідних судин, тобто

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{B_1(2B_1 + 8A)}{B_1^2} = 2 + \frac{8A}{B_1} \quad (6)$$

де  $P_1$ ,  $P_2$  – продуктивності роботи відповідно базової та проекрованої мішалки. Отримана залежність (6) показує, що при рівних відносних розмірах судини та однакових лопатей продуктивність проекрованої мішалки збільшується понад у 2 рази.

**Висновки.** Розроблена технічна система вібровідцентрової дефібринації дозволяє значно інтенсифікувати як процес механічного перемішування, так і подрібнення рідкої технологічної маси, здійснюючи механічні плоскі коливання при забезпеченні достатньо високих параметрів надійності; виконання функцій противаг самими гвинтовими лопатями дозволяє не менш як удвічі зменшити коливні маси системи та відповідно енерговитрати приводного механізму.

Продуктивність розробленої мішалки при рівних конструктивних параметрах порівняно з базовою моделлю збільшується понад у два рази; забезпечується ефективність процесу перемішування як у поперечному, так і у повздовжньому напрямках при нівелюванні «застійних зон» у робочій ємкості.

### Бібліографія

1. Сорокопуд А. Ф. Технологическое оборудование. Традиционное и специальное технологическое оборудование предприятий пищевых производств: учебное пособие. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2009. 202 с.
2. Чуешов В. И., Хохлова Л. М., Ляпунова О. О. и др. 2003. Технология лекарств промышленного производства. под ред. В. И. Чуешова. Х.: Изд-во НФаУ, 720.
3. Бобылев Р. В., Грядунова Г. П., Иванова Л. А. 1991. Технология лекарственных форм. / под ред. Л. А. Ивановой. Учебник в 2-х томах. Том 2. М.: Медицина, 544.
4. Шкоропад Д. Е., Новиков О. П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. М.: Химия, 1987. 256.
5. Паламарчук И. П., Липовый И. Г., Янович В. П. 2009. Развитие конструктивных схем виброцентробежных технологических машин для реализации процессов механической обработки сельскохозяйственного сырья. Вибрации в технике и технологиях. №2(54), С. 105-115.
6. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Костенко О. М. Вібраційні процеси та обладнання у переробному сільськогосподарському виробництві. Вінниця: ВЦ ВНАУ, 2016. 266 с.
7. Бандура В. М., Паламарчук І. П., Гунько І. В., Фіалковська Л. В., Берник І. М. Проектування технологічних процесів та підприємств для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції. Вінниця: ВНАУ, 2012. 266 с.

8. Берник П. С., Паламарчук І. П., Стоцько З. А., Яськов В. В., Зозуляк І. А. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. 336 с.

9. Баль-Прилипка Л. П., Паламарчук І. П., Ніколаєнко М. С. 2019. Моделювання інтенсифікації системи очищення промислових стоків на м'ясопереробних підприємствах. Продовольча індустрія АПК. №3-4. С.10-15.

### References

1. Sorokopud A. 2009. Tehnologicheskoe oborudovanye. Tradycyonnoe y spetsyalnoe tehnologicheskoe oborudovanye predpriyatyj pyshhevih proyzvodstv: uchebnoe posobyе- [Technological equipment. Traditional and special technological equipment of food production enterprises: textbook], Kemerovo, Kemerovskiy tehnologicheskij ynstytut pyshhevoj promishlennosty [Kemerovo Technological Institute of Food Industry], 202 [in Russian].

2. Chueshov V., Khokhlova L., Lyapunova O. et al. 2003. Tekhnologiya lekarstvennykh form [Technology of drugs for industrial production]/ ed. Chueshov. Publishing House of the NFAU, 720. [in Russian].

3. Bobylev R., Gryadunova G., Ivanova L. 1991. Tekhnologiya lekarstvennykh form. [Technology of dosage forms / ed. L. Ivanova]. Vol. 2. M.: Meditsina [Medicine], 544. [in Russian].

4. Shkoropad D., Novikov O. Tsentrifugi i separatory dlya khimicheskikh proizvodstv [Centrifuges and separators for chemical plants]. M.: Chemistry, 1987.256. [in Russian].

5. Palamarchuk I., Lipovy I., Yanovich V. 2009. Razvitiye konstruktivnykh skhem vibrotsentrobezhnykh tekhnologicheskikh mashin dlya realizatsii protsessov mekhanicheskoy obrabotki selskokhozyaystvennogo syria. Vibratsii v tekhnike i tekhnologiyakh [Development of structural schemes of vibrocentrifugal technological machines for the implementation of mechanical processing of agricultural raw materials. Vibrations in engineering and technology] № 2 (54), 105-115. [in Russian].

6. Palamarchuk I., Tsurkan O., Kostenko O. Vibratsiini protsesy ta obladnannia u pererobnomu silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Vibration processes and equipment in processing agricultural production]. Vinnitsa: Higher School of Higher Education, 2016. 266 p. [in Ukrainian].

7. Bandura V., Palamarchuk I., Gunko I., Fialkovskaya L., Bernik I. Proektuvannia tekhnolohichnykh protsesiv ta pidpriemstv dlia pererobky i zberihannia silskohospodarskoi produktsii [Design of technological processes and enterprises for processing and storage of agricultural products]. Vinnitsa: VNAU, 2012. 266 p. [in Ukrainian].

8. Bernik P., Palamarchuk I., Stotsko Z., Yaskov V., Zozuliak I. Mekhanichni protsesy i obladnannia pererobnoho ta kharchovoho vyrobnytstva [Mechanical processes and equipment of processing and food production.]. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2004. 336 p. [in Ukrainian].

9. Bal-Prylypko L., Palamarchuk I.P, Nikolaenko MS 2019. Modeliuvannia intensyfikatsii systemy ochyshchennia promyslovykh stokiv na miasopererobnykh pidpriemstvakh [Modeling the intensification of industrial wastewater treatment at meat processing plants. The agro-food industry]. (3-4). С. 10–15. [in Ukrainian].