

Chernyushok Olga, Candidate of Sciences, Associate Professor of the Department of technology of meat and meat products. National University of Food Technologies. Address: str. Volodymyrska, 68, Kyiv, Ukraine, 01033. E-mail: olgachernyushok@list.ru.

Федоров Володимир Гаврилович, д-р техн. наук, проф., кафедра прикладної інженерії та охорони праці, Уманський національний університет садівництва. Адреса: вул. Інститутська, 1, м. Умань, Україна, 20305.

Федоров Владимир Гаврилович, д-р техн. наук, проф., кафедра прикладной инженерии и охраны труда, Уманский национальный университет садоводства. Адрес: ул. Институтская, 1, г. Умань, Украина, 20305.

Fedorov Vladimir, doctor of engineering Sciences, Professor of the Department of applied engineering and occupational safety and health Uman national University of horticulture. Address: vul. Institutskaya 1, Uman, Ukraine, 20305.

Кепко Олег Ігорович, канд. техн. наук, доц., кафедра прикладної інженерії та охорони праці, Уманський національний університет садівництва. Адреса: вул. Інститутська, 1, м. Умань, Україна, 20305.

Кепко Олег Игоревич, канд. техн. наук, доц., кафедра прикладной инженерии и охраны труда, Уманский национальный университет садоводства. Адрес: ул. Институтская, 1, г. Умань, Украина, 20305.

Kerko Oleh, Cand. tech. assistant Professor, Department of applied engineering and occupational safety and health Uman national University of horticulture. Address: str. Institutskaya 1, Uman, Ukraine, 20305.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.О. Потаповим.
Отримано 15.03.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 664.653.8

ТРИВАЛІСТЬ ОСНОВНИХ ЕТАПІВ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОЇ ОПАРИ, ВИЗНАЧЕНА НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

ІЮ.Ю. Доломакін, І.Г. Бабанов, І.В. Житнецький

Досліджено рідку опару, гетерогенну структуру, що складається з пшеничного борошна та води. Запропоновано непрямий метод визначення готовності напівфабрикату хлібопекарської промисловості безпосередньо під час його приготування. Для цього вимірювали вторинний крутний момент, що виникає на поверхні чаші, у якій готувався досліджуваній напівфабрикат. За характером зміни моменту було визначено основні етапи його готовності у вигляді конкретних часових інтервалів.

Ключові слова: час приготування, непрямий метод, рідка опара, крутний момент.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЖИДКОЙ ОПАРЫ, ОПРЕДЕЛЕННАЯ КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ

Ю.Ю. Доломакин, И.Г. Бабанов, И.В. Житнецкий

Исследована жидкая опара, гетерогенная структура, состоящая из пшеничной муки и воды. Предложен косвенный метод определения готовности полуфабриката хлебопекарной промышленности непосредственно во время его приготовления. Для этого измеряли вторичный крутящий момент, возникающий на поверхности чаши, в которой готовился исследуемый полуфабрикат. По характеру изменения момента были определены основные этапы его готовности в виде конкретных временных интервалов.

Ключевые слова: время приготовления, косвенный метод, жидкая опара, крутящий момент.

DURATION OF THE MAIN STAGES OF PREPARATION OF A LIQUID SOURDOUGH DETERMINED INDIRECT METHODS

Y. Dolomakin, I. Babanov, I. Zhitneckiy

Unlike a lot of works, where the object of research is the finished product, our investigation were led during its preparation directly, which made the possibility to identify the specific values of time intervals, which can be divided into the process of mixing the liquid wheat sourdough, half-finished product of baking enterprises.

Basically readiness of the semi-finished product is determined by distribution of the concentration of components throughout the volume of the bowl, but this method is very complicated and costly. The work presents an indirect method of determining the readiness of liquid sourdough. The method is based on the condition of equality of the torques. It is expressed in the form of equality of the torque applied to the semi-finished product during the motion of the rotor of the mixer and the moment of resistance at the walls and bottom of the cup.

According to the study preparation process of sourdough can be divided into several stages. In a first stage the torque begins to increase at a very high speed. Duration of sourdough preparation makes up 12% of the total time. In the second phase, the torque reached its maximum begins to decrease at a rate twenty times less than on the first stage. The duration of this stage is about 28% of the time. Thereafter third stage takes 60% of whole time. At this stage, change interval of torque increase, which indicates the beginning of system counterweight and the end of its readiness.

At the final stage sourdough acquires a dynamic state in which backward for the strength contacts between the particles of flour are destroyed and the largest of its turnover is realized with a minimum level of effective viscosity (lowest viscosity maximum destructed structure). The duration of this phase is defined by the time intervals between the account of the torque "T". Thus, essential total time for the

preparation of liquid sponge was about 200 seconds according to our process conditions.

Keywords: *cooking time, the indirect method, liquid sourdough, torque.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. У літературі зазвичай розглядаються властивості дисперсних систем, у яких процес формування структури по суті завершено, тобто для дослідження береться зразок продукту, заздалегідь приготовлений тим чи іншим способом. Тому кінетичні закономірності процесу взаємного розподілу рідкої і твердої фаз, що є початковим етапом утворення дисперсних систем (стадія змішування), залишаються поза увагою дослідників. Тим часом, важливість цього етапу у формуванні дисперсних систем очевидна. Саме на початкових стадіях структуроутворення з моменту виникнення контакту твердих дисперсних фаз між собою та з рідким середовищем закладаються основи майбутньої двофазної структури у висококонцентрованої дисперсній системі. Найважливіша характеристика таких систем – однорідність їх структури – досягається в результаті рівноймовірного розподілу твердої та рідкої фаз [1].

Абсолютна реометрія може оперувати тільки більш-менш однорідними твердими тілами або рідинами в межах області ламінарної течії або лінійної в'язкопружної реакції зразка. У реометрах крутного моменту зразки можуть розглядатися не такими, якими вони є, а якими вони можуть бути під час перероблення в режимі неламінарної складної течії. Поведінку матеріалів у складних умовах їх перероблення узагальнено в терміні «технологічність». Взаємозамінні змішувальні камери, що розрізняються за розмірами й конструкцією ротора, дозволяють дати відносну оцінку різних аспектів цієї технологічності для дуже широкого кола матеріалів – від полімерів до харчових продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес приготування опари полягає в змішуванні борошна з водою та добавленні речовин, що стимулюють бродіння [2]. Під час змішування пшеничного борошна з водою можуть бути отримані кілька видів матеріалів залежно від кількості води, яка додається, великий вміст води дає рідку суспензію. В опарі вода може бути зв'язаною та вільною. Зв'язана вода входить до складу гідратної оболонки, має обмежену рухливість і надає опарі підвищену порівняно з водою міцність.

До основних компонентів борошна належать природні високомолекулярні сполуки – білки й полісахариди (крохмаль). Крохмаль так само, як і білкова фракція, відповідає за формування готового напівфабрикату. Гранули крохмалю відіграють ключову роль на стадії випікання, але на етапі змішування їх значення не таке

важливе [3]. Очевидно, що гранули крохмалю викликають сильну нелінійну поведінку реологічних характеристик борошняних суспензій [4].

Утворення з борошна опари відбувається в результаті набухання, збільшення маси та об'єму високомолекулярних сполук унаслідок поглинання їх низькомолекулярною водою. Для крохмалю ступінь набухання обчислюється одиницями відсотків, а для білка він може досягати 200%.

У результаті обмеженого набухання білків утворюється в'язка за консистенцією опара. Коли частина білків переходить у розчинений стан, властивості опари погіршуються: вона стає рідкою та липкою. Набухання в цьому разі буде необмеженим.

Розмір і форма частинок борошна значною мірою визначають властивості майбутньої опари в цілому. Частинки пшеничного борошна вищого ґатунку сприймає око людини, вони мають розміри від 1 до 100 мкм [3]. Цей сорт борошна одночасно належить до середньо- і грубодисперсних систем. Такі розміри надають опарі особливі якості, пов'язані в першу чергу з величиною поверхні розділу між частинками та водою.

Прагнення до зменшення площі розділу фаз простежується в мимовільному укрупненні частинок борошна. Злипання частинок веде до утворення агрегатів. Чим дрібніші частинки, тим інтенсивніше вони прагнуть до укрупнення. Тому для борошна характерне утворення агрегатів і навіть грудок, що складаються з безлічі частинок. Цей процес називають коагуляцією.

Роздробленість, різке збільшення поверхні розділу фаз у поєднанні з великим надлишком поверхневої енергії призводять до того, що система стає нерівноважною та прагне перейти в більш стабільний рівноважний стан [7].

Таким чином, міжфазні шари перетворилися на засіб, що зумовлює властивості дисперсних систем. До цих властивостей належать контактні взаємодії і структуроутворення.

Контактні взаємодії відображають результат зіткнення твердих тіл – частинок дисперсної фази між собою (аутогезія), коли відсутнє переміщення тіл. У динамічних умовах контактні взаємодії формують міцність структурованих тіл.

Виміряти властивості такої системи нелегко, тому що вони змінюються з часом через фізичні та хімічні чинники (еволюція взаємодії компонентів вода/борошно, ферментативні реакції, релаксація напружень), які виникають під час змішування.

Мета статті – визначити тривалість основних етапів приготування рідкої опари за допомогою непрямого методу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом досліджень була рідка пшенична опара вологістю 65%. Опара готувалася з пшеничного борошна вищого гатунку, без додавання інших рецептурних компонентів.

Визначення величини крутного моменту на зовнішній частині чаші проводили за допомогою експериментальної установки (рис. 1) із циліндричною чашею 4 внутрішнім діаметром D і приводом, що складається з асинхронного двигуна 1 і клинопасової передачі 2.

Розмір робочого органу (зовнішній діаметр) залежав від внутрішнього діаметра чаші D і становив відповідно $1/2$ її частини, в абсолютних значеннях це дорівнює 130 мм. Побудований за допомогою елементів САПР робочий орган у 3D-форматі зображено на рис. 2.

На конструкцію пристрою з таким робочим органом було отримано патент на корисну модель [6].

Завданням наших досліджень стало визначення готовності рідкої пшеничної опари. Це було реалізовано методом фіксування крутного моменту на чаші (вторинний крутний момент), у якій вона готувалася. Такий метод у літературі називають механічним, а пристрій для його вимірювання – динамометром.

Із цієї метою чаша була змонтована на панелі, що вільно оберталася, це дає змогу вимірювати величину врівноважуючого моменту під час роботи мішалки. Цей момент і приймався еквівалентним крутному моменту на її валу.

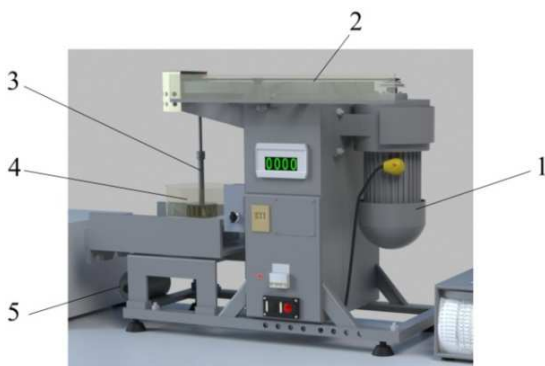


Рис. 1. Експериментальна установка:
1 – електродвигун; 2 – клинопасова передача; 3 – вал із робочим органом;
4 – прозора циліндрична чаша; 5 – електронні ваги

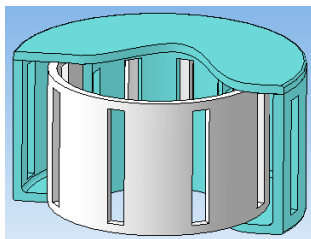


Рис. 2. 3D-модель робочого органу змішувача в розрізі

У нашому досліді робочий орган обертався зі швидкістю 500 об/хв, при цьому в чаші перебувала підготовлена вода температурою 30° С, об'ємом 0,0036 м³. У певний момент часу з постійною швидкістю засипалось 2400 г борошна в чашу з водою. Робочий орган при цьому знаходився в русі. Часовий інтервал, протягом якого засипали борошно, $t \approx 24$ с, тобто борошно засипали з рівномірною швидкістю 100 г/с.

Опір опари змішуванню, пропорційний її в'язкості, вимірювали за допомогою електронних ваг, у вигляді сили, яка виникає на зовнішньому радіусі чаші змішувача. Тому одночасно фіксувалося значення сили F за допомогою електронних ваг у грамах.

За обертого руху рідини щодо осі апарата працює умова рівноваги моментів, яка виражається у формі рівності крутного моменту, прикладеного до рідини під час руху ротора змішувача, і моменту опору на стінках і днищі чаші. Виходячи з цієї умови, виміряти вторинний крутний момент на твірній чаші апарата з мішалкою було неважко. Заміряну на певному плечі величину сили, яка не допускає обертання чаші, множили на радіус самої чаші за формулою:

$$T = F \times r, \quad (1)$$

де T – крутний момент, Н×м; F – сила на радіусі r від осі обертання, Н; r – радіус чаші ($r = 0,13$), м.

Цей момент вимірювався в часі протягом 400 сек.

Першим етапом отримання рідкої опари є змішування компонентів. При цьому розчиняються розчинні компоненти борошна та інших інгредієнтів, а нерозчинні компоненти гідратуються. Іншим важливим наслідком змішування є насичення опари повітрям. Після того, як опара приготовлена, нові бульбашки повітря в ній утворюватися не можуть, при цьому вони можуть зникати, піднімаючись на поверхню або зливаючись одна з одною.

Пшеничне борошно містить деякі унікальні білки, гліадіни та глютеніни, які не наявні в інших зернових. Гідратація цих білків дає клейковину. Формування клейковини структури впливає з фізико-хімічних процесів, що перебігають на молекулярному рівні.

Таким чином, отримані в ході експерименту дані сили F перераховували в ньютони і за формулою (1) розраховували значення крутного моменту. Отримані результати подано у вигляді реограми, побудованої на рис. 3.

Згідно з результатами дослідження, через 11,9 с після початку засипання 1190 г борошна на твірній чаші з'являється крутний момент, який створює опір робочому органу внаслідок початку утворення структури в системі борошно/вода. Потім він зростає із дуже великою швидкістю, момент змінюється на 0,01 Н×м за 0,1 с. У момент часу $t = 24,22$ с. борошно повністю опиняється в чаші з водою. Свого максимального значення момент досягає на 24,87 с саме значення дорівнює 0,51 Н×м.

Подальше спостереження показує, що, досягнувши свого максимуму, крутний момент починає змінюватися в меншу сторону (рис. 4), але не з такою швидкістю, з якою було збільшення в початковому проміжку часу. За одну секунду момент зменшується на 0,005 Н×м, тобто приблизно в 20 разів повільніше швидкості на першому етапі.

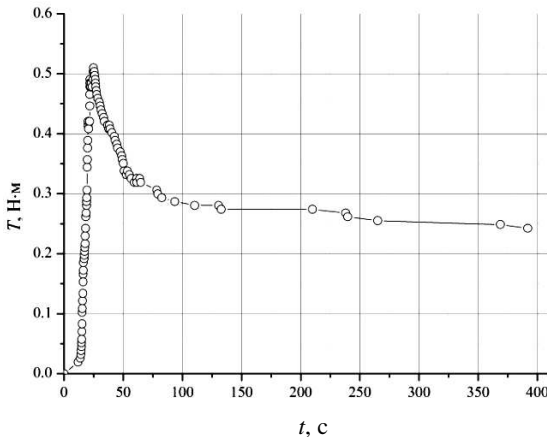


Рис. 3. Залежність крутного моменту T на твірній чаші змішувача від часу

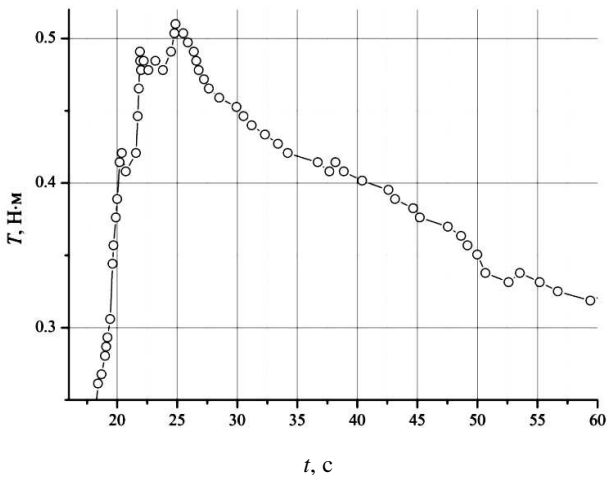


Рис. 4. Область пікових значень крутного моменту на валу змішувача

Приблизно з 80 с інтервали часу зміни значення крутного моменту збільшуються до 10 с, що може свідчити про початок урівноваження системи і як наслідок про готовність продукту. Остаточний момент урівноваження системи досягається приблизно на 133 с і зменшується до значення 0,274 Н·м, що становить 54% від його максимального значення (рис. 5).

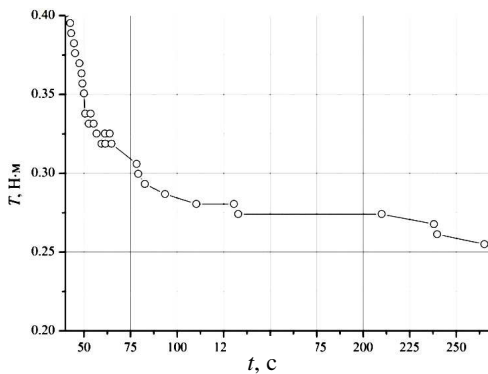


Рис. 5. Область урівноваження значень крутного моменту на валу змішувача

Згодом крива змінюється несуттєво, що говорить про те, що в цьому проміжку відбувається «переміс» опари, який призводить до нерационального збільшення енергії, що витрачається на її приготування.

Розрахунок за отриманою реограмою дозволяє визначити кількість борошна, яке відповідає зростанню крутного моменту до 70% від максимального значення. Згідно з розрахунками вона становитиме 1970 г або 82% від загальної маси борошна. Цю кількість борошна вважають характерною. Вона визначає абсорбційну здатність компонента. Також її називають водопоглинальною здатністю борошна. Відомості про неї необхідні для уявлення про поведінку опари під час перероблення.

Висновки. Характер кривої крутного моменту пояснюється тим, що борошно та вода в початковий період починають швидко злипатися й утворювати грудки, у результаті цього в'язкість маси і, відповідно, крутний момент різко зростають, що можна пояснити збільшенням числа контактів між частинками борошна в одиниці об'єму чаші. Тривалість цього періоду становить приблизно 13 с.

На початку процесу змішування існує велика кількість вільної води. Частинки борошна незалежні одна від одної, спостерігається схильність до змішування. Потім борошно поступово гідратується і кількість вільної води, зменшується таким чином, що зчеплення системи зростає. Поступово розвивається макромолекулярна мережа клейковини.

У наступній фазі після досягнення максимального значення крутного моменту під зовнішнім механічним впливом руйнується суцільна просторова структурна сітка, що супроводжується втратою фіксованого положення частинок в об'ємі системи, що призводить, у свою чергу, до втрати кінетичної стійкості, особливо якщо частки або агрегати з частинок мають відносно великі розміри. Цей етап має найбільшу тривалість і становить приблизно 108 с.

На завершальній стадії за допомогою механічних впливів опара набуває такого динамічного стану, за якого всі зворотні за міцністю контакти між частками борошна зруйновані та реалізується найбільша її плинність за мінімального рівня ефективної в'язкості (найменша в'язкість гранично зруйнованої структури). Тривалість цього етапу визначили за проміжками часу між значеннями крутного моменту T . Як бачимо на рис. 5, інтервали збільшилися після 132 секунди загального часу досліду. Загальний час цього етапу таким чином становить приблизно 77 с. Тоді загальний час, необхідний для приготування рідкої опари в наших умовах досліду дорівнюватиме близько 200 с.

Отже, непрямі методи реометрії можуть надавати важливу інформацію про здатність матеріалу до перероблення, якої не може надати абсолютна реометрія. Абсолютна та непрямі реометрія доповнюють одна одну. Завдяки властивим кожному з цих методів перевагам і обмеженням їх спільне застосування призведе до більш широкого розуміння поведінки

матеріалу на необхідній стадії перероблення, ніж використання кожного з них окремо.

Таким чином, контроль поведінки рідкої опари під час змішування її компонентів за зміною величини крутного моменту на приводі змішувального органу дозволяє формувати концептуальне уявлення про отриману гетерофазну структуру напівфабрикату, установлювати необхідну кількість води і режим змішування рецептурних інгредієнтів.

Список джерел інформації / References

1. Peker, S.M., Helvacı, S.S. (2008), *Solid-Liquid Two Phase Flow*, Department of Chemical Engineering, Ege University, Izmir, Turkey, 515 p.
2. Jongen, T.R.G., Brusckhe, M.V., Dekker, J.G., (2003), "Analysis of dough kneaders using numerical flow simulations", *Cereal Chemistry*, No. 80, pp. 383-389.
3. Letang, C., Piau, M., Verdier, C., (1999), "Characterization of wheat flour-water doughs", *Journal of Food Engineering*, No. 41, pp. 121-132.
4. Imeson, A. (2010), *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*, Wiley-Blackwell, 368 p.
5. Blanchard, C., Labouré, H. (2012), "Study of the impact of wheat flour type, flour particle size and protein content in a cake-like dough: Proton mobility and rheological properties assessment", *Journal of Cereal Science*, No. 56, pp. 691-698.
6. Пат. 103656 Україна, МПК А21С 1/02. Пристрій для змішування рідких напівфабрикатів / Ю. Ю. Доломакін, І. М. Литовченко. – u2015 06039 ; заявл. 18.06.15 ; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24. – 4 с.
Dolomakin, Y.Y., Lytovchenko, I.M. (2015), *Device for mixing liquid emifinished products [Prystriy dlya zmishuvannya ridkykh napivfabrykativ]*, Pat. 103656 Ukraine IPC A21C 1/02.
7. Cauvain, S.P. (2012), *Breadmaking*, Woodhead Publishing. Series in Food Science, Cornwall, 802 p.

Доломакін Юрій Юрійович, асист., кафедра машин та апаратів харчових і фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601. Тел.: (044)287-98-13, 0934360230; e-mail: dyu76@mail.ru.

Доломакін Юрій Юрьевич, ассист., кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601. Тел.: (044)287-98-13, 0934360230; e-mail: dyu76@mail.ru.

Dolomakin Yuriy, assistant, Department «Machines and Apparatus of Food and Pharmaceutical Productions», National University of Food Technology. Address: Volodymyrska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601. Tel.: (044)287-98-13, 0934360230; e-mail: dyu76@mail.ru.

Бабанов Ігор Геннадійович, канд. техн. наук, доц., кафедра машин та апаратів харчових і фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601. Тел.: (044)287-94-97; e-mail: igbabanov@mail.ru.

Бабанов Игорь Геннадиевич, канд. техн. наук, доц., кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601. Тел.: (044)287-94-97; e-mail: igbabanov@mail.ru.

Babanov Igor, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department «Machines and Apparatus of Food and Pharmaceutical Productions», National University of Food Technology. Address: Volodymyrska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601. Tel.: (044)287-94-97; e-mail: igbabanov@mail.ru.

Житнецький Ігор Володимирович, канд. техн. наук, доц., кафедра машин та апаратів харчових і фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601. Тел.: (044)287-98-13; e-mail: zhitn@ukr.net.

Житнецький Игорь Владимирович, канд. техн. наук, доц., кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601. Тел.: (044)287-98-13; e-mail: zhitn@ukr.net.

Zhitneckiy Igor, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department «Machines and Apparatus of Food and Pharmaceutical Productions», National University of Food Technology. Address: Volodymyrska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601. Tel.: (044)287-98-13; e-mail: zhitn@ukr.net.

Рекомендовано до публікації канд. техн. наук, доц. А.О. Шевченком, д-ром техн. наук, проф. М.І. Погожих.

Отримано 15.03.2016. ХДУХТ, Харків.