

*Проведено аналіз літературних джерел та обґрунтовано необхідність та можливість створення нових конструкцій сушарок з використанням вібраційних коливань робочого контейнера для інтенсифікації процесу сушіння. Запропоноване конструктивне рішення вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі дозволяє одночасно реалізувати два керовані технологічні процеси сушіння для інтенсифікації процесів тепло-масообміну при сушінні сипучих матеріалів*

*Ключові слова: зерно, сушіння, конвективне сушіння, вібромашина, вібрація, дебаланси, вібропривід, віброкип'ячий шар*

*Проведен анализ литературных источников и обоснована необходимость и возможность создания новых конструкций сушилок с использованием вибрационных колебаний рабочего контейнера для интенсификации процесса сушки. Предложенное конструктивное решение вибромашины для сушки гранулированных и зернистых материалов в виброкипящем слое позволяет одновременно реализовать два управляемых технологических процесса сушки для интенсификации процессов тепло-массообмена при сушке сыпучих материалов*

*Ключевые слова: зерно, сушка, конвективная сушка, вибромашина, вибрация, дебалансы, вибропривод, виброкипящий слой*

# ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРОМАШИНИ ДЛЯ СУШІННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ І ЗЕРНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

**І. А. Зозуляк**

Асистент

Кафедра процеси та обладнання  
переробних та харчових  
виробництв ім. проф. П.С.Берника  
Вінницький національний аграрний  
університет

вул. Сонячна, 3, Вінниця, Україна, 21008

E-mail: tehnovnu@mail.ru

## 1. Вступ

Найважливішим завданням зернопереробної промисловості є розробка системи заходів та скорочення кількісних і якісних втрат зерна при його зберіганні. З метою приведення зерна в стійкий стан для зберігання, забезпечення кількісно-якісної характеристики зерна застосовують різні технологічні прийоми, серед яких найбільш ефективним є сушіння зерна. Задача полягає, насамперед, у зниженні вологості зерна до рівня нижче критичного, при якій фізіологічні процеси сповільнюються, а зернова маса перебуває в анабіотичному стані.

## 2. Літературний огляд

Результати експериментальних досліджень вібраційного сушіння і досвід промислової експлуатації обладнання показали наступні переваги застосування вібрацій при сушінні дисперсних матеріалів: інтенсивне перемішування частинок матеріалу; інтенсивне знімання вологи внаслідок постійного оновлення поверхні вологообміну; вирівнювання температури матеріалу в об'ємі сушильного апарату; поліпшення якості сушіння; зниження швидкості початку вібропсевдозрідження; зменшення енергетичних витрат; можливість суміщення різних технологічних операцій при безперервному веденні процесу (транспортування та сушіння, гранулювання і сушіння, формування оболонки і сушіння, поділ на

фракції та сушіння та ін); створення нових високо-ефективних вібраційних сушарок з регульованими параметрами вібрації [1 – 4].

Для реалізації технологічного процесу сушіння відома установка з віброкиплячим шаром для сушіння сільськогосподарської продукції АІ-КВО рис. 1 [5]. Вона являє собою камеру, розташовану чотири сушильних короби, розташованих один під іншим і попарно з'єднаних вертикальними тягами, та які пов'язані з ексцентриковим приводом і ресорами. Пари коробів коливаються за допомогою ексцентриків, перемішуючи та просушуючи при цьому матеріал, що знаходиться в коробах, продуваючи його сушильним агентом. Недоліком сушарки є велика металоємність, енергоємність, використання пари для нагрівання повітря, складність забезпечення герметизації камери сушіння.

Відома сушарка для сипучих матеріалів в віброкиплячому шарі переважно зернобобових та олійних культур, яка може бути використана для сушки ВСБК (рис. 2) [6], що представляє собою сушильну камеру з'єднану гнучкими елементами з напірною камерою. Віброосушарка виконана як лабіринт, утворений ребрами, які встановлені перпендикулярно газорозподільній решітці і встановлені відносно один одного в шаховому порядку. Матеріал на решітці піддається псевдозрідженню і переміщається по лабіринту сушарки під дією віброколивань.

Недоліком сушарки є складність конструкції, однократне використання сушильного агента, застосування одноступінчастого сушіння, неоднорідний

розподіл теплоносія по газорозподільних решетах і складність регулювання режимів технологічного процесу сушіння.

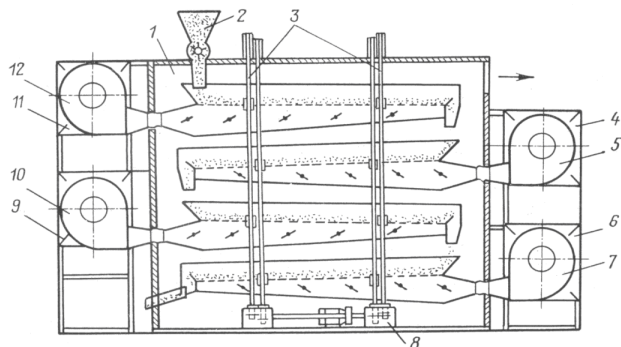


Рис. 1. Вібросушильна установка AI-KBO: 1 – сушильна камера; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вертикальні тяги; 4, 6, 9, 11 – парові калорифери; 5, 7, 10, 12 – вентилятори; 8 – ексцентриковий привід

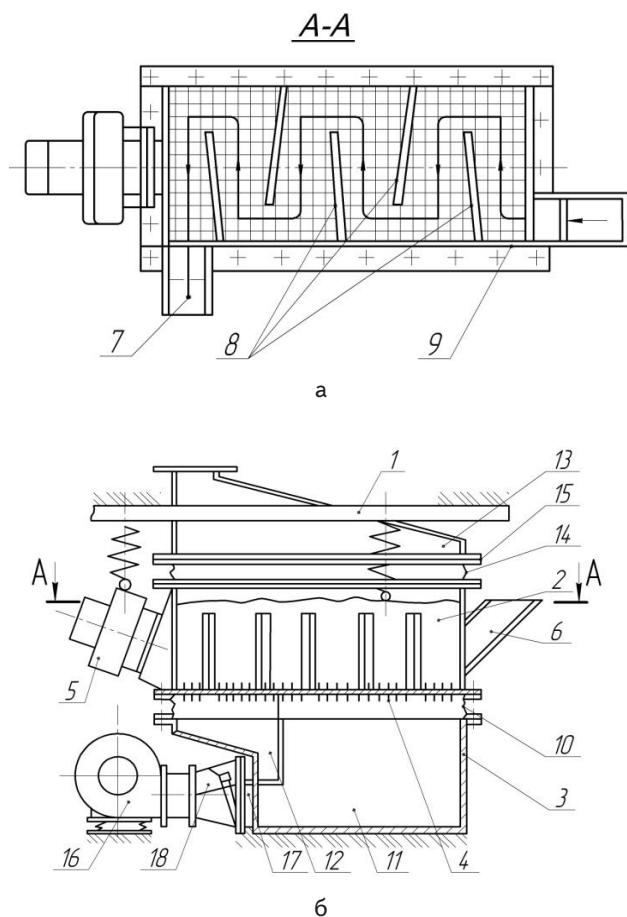


Рис. 2. Вібросушарка для сипучих матеріалів: а – загальний вигляд вібросушарки; б – розріз сушильної камери сушарки; 1 – рама; 2, 3 – сушильна і напірна камери; 4 – газорозподільна решітка; 5 – вібропривод; 6, 7 – завантажувальний і розвантажувальний лотки; 8 – ребра; 9 – стінки камери; 10, 14 – гнучкі елементи; 11, 12 – секції подачі теплоносія і подачі повітря; 13 – короб; 15 – пружний елемент; 16 – вентилятор; 17 – калорифер; 18 – система подачі повітря

Особливістю комбінованих сушарок є багатосекційність їх конструкцій, де в процесі сушіння насіннєвий шар може знаходитися в різних станах в кожній з секцій, забезпечуючи цим раціональний режим сушіння ВСБК.

### 3. Мета роботи

Розробити конструктивне рішення сушарки для гранульованих і зернистих матеріалів із високою та керованою інтенсивністю процесів тепло-масообміну.

### 4. Матеріал і результати досліджень розробки конструктивного рішення вібромашини для сушки

Запропонована нова конструкція вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі, спроектована та виготовлена в науково-дослідній лабораторії Вінницького національного аграрного університету. Зовнішній вигляд якої зображено на рис. 3, а та рис. 3, б складається із рами 1 на якій на 2 встановлено корпус U – подібної форми 3 [7]. На корпусі U – подібної форми 3 розміщено автономні приводи які самовільно синхронізуються 6 керованого інерційного віброприводу котрі через муфти 7 передають крутний момент до керованих дебалансних віброприводів 8. Корпус U – подібної форми складається із (рис. 4) першої секції 4 та другої секції 5, на суміжній боковій стінці паралельних секцій U – подібної форми 11 зі сторони автономних приводів 6 які самовільно синхронізуються зроблено виріз 18. В першій (рис. 5, а) U – подібній секції 4 корпусу 3 розташована завантажувальна горловина 14 та електротен 12, що розташований в центральній частині секції 4 корпусу U – подібної форми 3 електричні контакти 19 якого виведено через торцеву стінку котра розташована навпроти торцевої стінки до якої закріплена завантажувальна горловина 14. В другій (рис. 5, б) U – подібній секції 5 корпусу 3 розташована вивантажувальна горловина 15 та пустотілий патрубок 13 із газорозподільючими отворами. Вивантажувальна горловина 15 закріплена до торцевої стінки U – подібної секції 5 корпусу 3 таким чином, що має можливість переміщуватись у вертикальному напрямі та фіксуватись болтами у довільному положенні. Пустотілий патрубок 13 із газорозподільючими отворами 20 своїм глухим кінцем кріпиться до торцевої стінки до якої закріплена завантажувальна горловина 14, а відкритим кінцем кріпиться до торцевої стінки на котрій виведено контакти 19 електротену 12 і до фланця пневмомережі 17. Корпус U – подібної форми зверху закривається газовивідною кришкою (на рисунках непоказана) котра кріпиться до корпусу болтами, що розташовані по периметру 16. Після запуску приводів 6 та самосинхронізації керованих дебалансних віброприводів 8 корпус U – подібної форми 3 разом із сипучим матеріалом в U – подібних секціях 4 та 5 починає здійснювати коливні рухи по коловій (еліптичній) траєкторії на певній частоті.

В результаті колових рухів сипучого матеріалу в U – подібних секціях 4 та 5 (рис. 4) проходить інтенсивне перемішування сипучого матеріалу. За ра-

хунок безперервної подачі сипучого матеріалу через завантажувальну горловину 14 відбувається процес ідеального витіснення, котрий полягає у поршнево-му переміщенні потоку сипучого матеріалу та повному перемішуванні в напрямку перпендикулярному до руху потоку сипучого матеріалу [8]. У результаті накладання витіснення із коловим перемішуванням утворюється спіралеподібна траєкторія руху довільного елемента сипучого матеріалу (гранул або зернин) в здовж U – подібних секцій 4 та 5 (рис. 4).

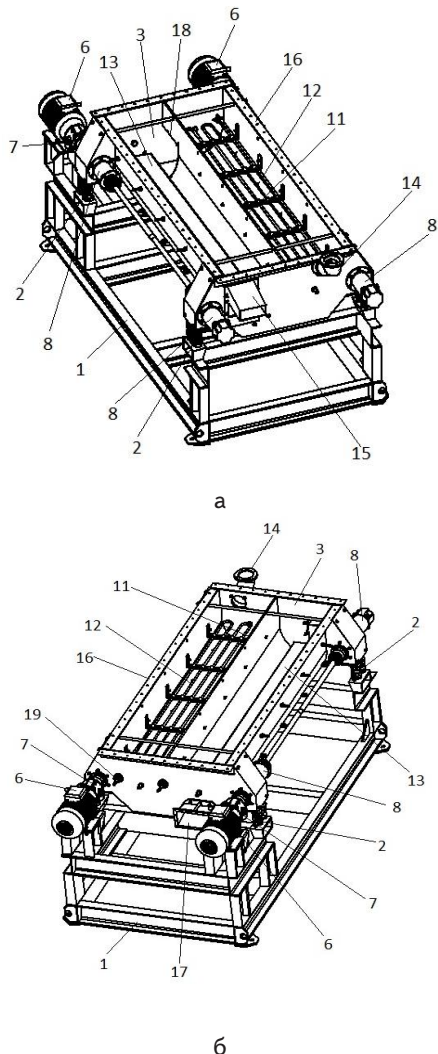


Рис. 3. Конструктивне рішення вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі: а – вид із сторони завантажувальної та розвантажувальної горловини; б – вид із сторони електродвигунів: 1 - рама ; 2 - пружна підвіска; 3 - корпус; 6 - привод; 7 - муфта; 8 - дебалансний вібратор; 11 - бокова стінка; 12 - електротен; 13 - пустотілий патруб-ок; 14 - завантажувальна горловина; 15 - вивантажуваль-на горловина; 16 - кріплення кришки; 17 - пневмомережа; 18 - виріз; 19 - електричні контакти

Завдяки тому, що керовані дебалансні віброприводи 8 можуть плавно у довільних межах змінювати [9] амплітуду циклічної вимушеної сили, відбувається відповідна зміна амплітуди коливань корпусу U – подібної форми 3 разом із сипучим матеріалом в

U – подібних секціях 4 та 5 (рис. 4). Керування амплітудою коливань здійснюється за допомогою розробленого та запатентованого керованого синхронного віброзбуджувача [10] та дозволяє змінювати колову траєкторію (радіус спіралі) руху сипучого матеріалу по U – подібних секціях 4 та 5. В результаті зміни амплітуди коливань корпусу U – подібної форми 3 змінюються технологічні параметри сушки, зокрема: інтенсивність перемішування сипучого матеріалу та час його перебування в U – подібних секціях 4 та 5. Перехід сипучого матеріалу із першої U – подібної секції 4 до другої U – подібної секції 5 відбувається через виріз 18. Спіралеподібна форма руху сипучого матеріалу по секції 4 U – подібного корпусу забезпечує рівномірне прогрівання всього об'єму сипучого матеріалу електротеном 12.

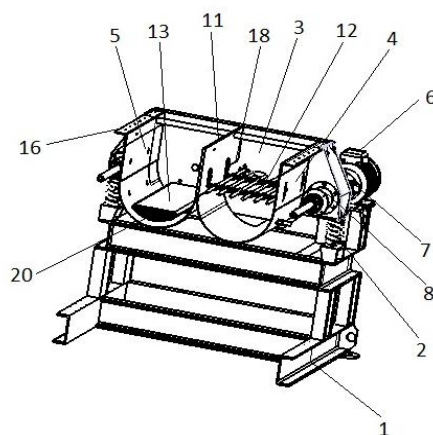


Рис. 4. Поперечний розріз першої та другої секції U – подібного корпусу вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі: 1 - рама ; 2 - пружна підвіска; 3 - корпус; 4 - перша секція; 5 - друга секція; 6 - привод; 7 - муфта; 8 - дебалансний вібратор; 11 - бокова стінка; 12 - електротен; 13 - пустотілий патруб-ок; 16 - кріплення кришки; 18 - виріз; 20 - газорозподілюючі отвори

В результаті температурного градієнту в першій секції 4 (рис. 5, а) U – подібного корпусу відповідно до [11] відбуватиметься вилучення вологи із верхніх шарів елементів (елементарних частинок), що являються сипучим матеріалом. Відповідно [11] при інтенсивному нагріванню вологого тіла (в нашому випадку елементарної частинки сипучого матеріалу) в його середині виникає надлишковий тиск через внутрішній опір тіла руху пари, що утворилась в результаті швидкого випаровування вологи. Тобто, при температурному градієнті в першій секції 4 U – подібного корпусу попри випаровування вологи із верхніх шарів, волога все ж таки залишається в центральних шарах елементарних частинок сипучого середовища. Для усунення даного недоліку технологічного процесу сушіння температурним градієнтом у другій секції 5 (рис. 5, б) U – подібного корпусу при перемішуванні сипучого матеріалу за допомогою пустотілого патрубка 13 із газорозподілюючими отворами 20 реалізовується технологічний процес конвективної сушки.

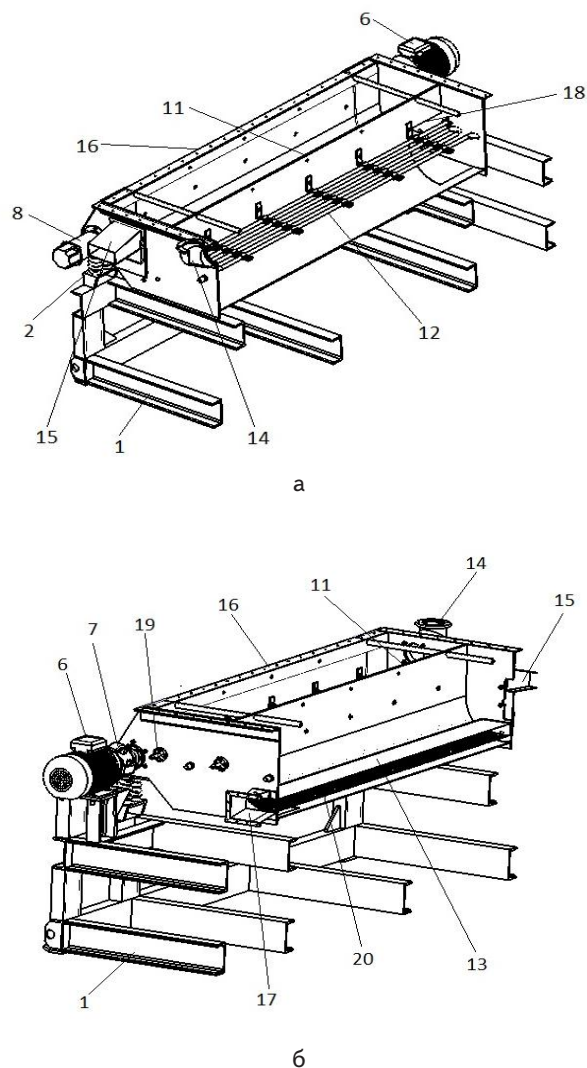


Рис. 5. Повздовжній розріз першої та другої секції U – подібного корпусу вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі: а – секція із температурним градієнтом; б – секція конвективної сушки: 1 – рама; 2 – пружна підвіска; 6 – привод; 7 – муфта; 8 – дебалансний вібратор; 11 – бокова стінка; 12 – електротен; 13 – пустотілий патрубок; 14 – завантажувальна горловина; 15 – вивантажувальна горловина; 16 – кріплення кришки; 17 – пневмомережа; 18 – виріз; 19 – електричні контакти; 20 – газорозподілюючі отвори

При конвективному сушінні волога видаляється із елементарних частинок сипучого матеріалу в результаті випаровування із верхніх шарів, а на зміну волозі, що випарувалась із центральних шарів елементарних частинок сипучого матеріалу переміщається волога під дією градієнта концентрації вологи. Постійна подача гранульованих і зернистих матеріалів через завантажувальну 14 та вивантаження готової продукції через вивантажувальну горловину 15 у безперервному циклі, дозволяє при даному конструктивному рішенні вібромашини реалізувати технологічний процес сушки із температурним градієнтом (секція 4) та технологічний процес конвективної сушки (секція 5).

## 5. Висновок

Запропоноване конструктивне рішення вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі дозволяє одночасно реалізувати два керовані технологічні процеси сушіння для інтенсифікації процесів тепломасообміну при сушінні сипучих матеріалів. Завдяки тому, що у першій секції U – подібного корпусу вібромашини відбувається накладання температурного градієнту на кероване вібраційне перемішування та переміщення (реалізоване витісненням сипучого матеріалу) вздовж секції U – подібного корпусу відбувається інтенсивне випаровування вологи із верхніх шарів гранульованих і зернистих матеріалів. Волога, що залишилась у центральних шарах гранульованих і зернистих матеріалів у другій секції U – подібного корпусу вібромашини при керованому перемішуванні та переміщенні сипучого матеріалу вздовж секції U – подібного корпусу за допомогою пустотілого патрубку із газорозподілюючими отворами інтенсивно видаляється методом конвективного сушіння.

## Література

1. Авдеев, А. В. Технологические линии для поточной послеуборочной обработки зерна [Текст] : Сб. науч. тр. / А. В. Авдеев, Г. В. Ануфриев и др. – М. : ВИСХОМ, 1989. – С. 16-22.
2. Антонов, С. Т. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] / С. Т. Антонов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. – М. : Высшая школа, 2001. – 138 с.
3. Малин, Н. И. Энергосберегающая сушка зерна [Текст] / Н. И. Малин. – М.: Колос, 2004. – 238 с.
4. Резчиков, В. А. Зависимость качества зерна от равномерности нагрева при сушке [Текст] / В. А. Резчиков // Мукомольно-элеваторная промышленность. – 1968. – № 1. – С. 25–30.
5. Кац, З. А. Сушка пищевых продуктов в виброкипящем слое [Текст] / З. А. Кац, А. П. Рысин – М. : ЦНИИТЭИ Пищепром, 1972. – 44 с.
6. Вибросушилка для сыпучих материалов [Текст] : пат. 2047066 Российская Федерация, МПК F 26 В 17/26, 3/092. / Тумасов А. С., Захаров В. Н., Пузанков А. А.; заявитель и патентообладатель Тумасов А. С. – №5012593/06; заявл.02.09.91; опубл. 27.10.95, Бюл. №30. – 6 с.
7. Вібромашина для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі [Текст] : пат. 84564 Україна, МПК F26В 17/00 (2013.01) / Чубик Р. В., Зозуляк І. А., Мокрицький Р. Б., Зозуляк О. В. Вінницький національний аграрний університет. № u 2013 05064; заяв 19.04.2013; опубл. 25.10.2013, бюл. № 20. – 6 с.
8. Анисимов, А. В. Расчет и оптимизация химических реакторов. Часть 1. Идентификация структуры потоков в химических реакторах методом исследования функций откликов. Конспект лекций. [Текст] / А. В. Анисимов, В. С. Тимофеев. – М. : МИТХТ Росвузнаука, 1992. – 40 с.

9. Чубик, Р. В. Керовані вібраційні технологічні машини [Текст] / Р. В. Чубик, Л. В. Ярошенко. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – 355 с.
10. Керований синхронний вібробуджувач [Текст] : пат. 84565 Україна, МПК В06В 1/16 (2006.01) / Чубик Р. В., Зозуляк І. А., Мокрицький Р. Б., Зозуляк О. В. – Вінницький національний аграрний університет. - № у 2013 05065; заяв 19.04.2013; опубл. 25.10.2013, бюл. № 20. – 14 с.
11. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности [Текст] / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 432 с.

*Обґрунтовано актуальність обробки водозернової суміші роторно-пульсаційним апаратом. Представлені результати досліджень гідравлических характеристик даного апарату при обробці зернової суміші з водою. Обрані оптимальні режими обробки даного середовища. Досліджено продуктивність роторно-пульсаційного апарату, а також отримані результати, які дозволяють застосувати їх у проектуванні промислових установок з приготування рідких кормів для сільськогосподарських тварин*

*Ключові слова: роторно-пульсаційний апарат, гідравлическі характеристики, водозернова суміш, рідкий корм*

*Обоснована актуальность обработки водозерновой смеси роторно-пульсационным аппаратом. Представлены результаты исследований гидравлических характеристик данного аппарата при обработке зерновой смеси с водой. Выбраны оптимальные режимы обработки данной среды. Исследована производительность роторно-пульсационного аппарата, а также получены результаты, которые позволяют применить их в проектировании промышленных установок по приготовлению жидких кормов для сельскохозяйственных животных*

*Ключевые слова: роторно-пульсационный аппарат, гидравлические характеристики, водозерновая смесь, жидкий корм*

УДК 636.084(075.8):532.528

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНО- ПУЛЬСАЦИОННОГО АППАРАТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДОЗЕРНОВОЙ СМЕСИ

**А. Н. Ободович**

Главный научный сотрудник,  
доктор технических наук\*

E-mail: tdsittf@ukr.net

**А. Ю. Лымарь**

Аспирант\*

E-mail: anna\_kro@ukr.net

\*Институт технической теплофизики  
Национальной академии наук Украины  
ул. Булаховского Академика, 2, г. Киев,  
Украина, 03164

## 1. Введение

В современных рыночных условиях сельскохозяйственное производство ориентировано на энерго- и ресурсосбережение. Вследствие этого постоянно растут требования к качеству измельчения зернофуража, снижению расхода энергии, металла. Проблемная ситуация заключается в том, что традиционные измельчающие устройства и научные знания в этой области не могут обеспечить дальнейшее коренное совершенствование данного процесса.

## 2. Постановка проблемы

На сегодняшний день возникла потребность в повышении интенсивности, улучшении качественных показателей кормоприготовительных аппаратов, разработке конструкции нового оборудования – высокопроизводительного и технологичного.

Одним из перспективных путей повышения эффективности производства является использование роторно-пульсационных аппаратов (РПА), основанных на принципе дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ). Возможности данного оборудования позволяют успешно осуществлять дробление, перемешивание, растворение с одновременным подогревом жидкой массы и ряд иных процессов [1, 2].

В институте технической теплофизики НАН Украины было разработано оборудование, которое реализует основные механизмы ДИВЭ: эффекты, связанные с ускорением движения непрерывной фазы, действие напряжений сдвига, кавитационные механизмы, механизмы взрывного вскипания [3 – 6].

Целью работы является исследование гидравлических показателей работы РПА при обработке водозерновой смеси в технологии приготовления жидких кормов. Объектами исследований была водозерновая смесь с различным содержанием твердой фазы и РПА, состоящий из статора и ротора,