

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.

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

*Обґрунтовано актуальність обробки водозернової суміші роторно-пульсаційним апаратом. Представлені результати досліджень гідравлічних 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, гідравлічні 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*

## 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,

выполненных в виде цилиндров с круглыми отверстиями.

Степень помола зерновых кормов, существенно влияет на переваримость и усвоение питательных веществ рациона. При традиционном способе приготовления жидких кормов зерновые культуры предварительно измельчают, затем смешивают с водой [7]. Такой способ не позволяет получить корм с рекомендуемой степенью измельчения зерна (300-500 мкм).

Предлагаемая технология получения жидких кормов предусматривает смешивание воды с различным количеством твердой фазы, которая представляет собой смесь зерновых культур и комбикорма. В дальнейшем полученную смесь обрабатывают с применением РПА до получения жидкого корма с размером частиц не более 500 мкм [8].

### 3. Экспериментальные данные гидравлических характеристик роторно-пульсационного аппарата

Качество готового продукта зависит от гидравлических характеристик аппарата и других показателей.

Гидравлические характеристики РПА определяются напорно-расходными показателями [9]. На напорно-расходные показатели влияют: скорость потока среды, содержание твердой фазы и межцилиндровый зазор.

Скорость потока среды определяется как произведение окружной скорости на радиус ротора:

$$v = 2\pi n \cdot R_p, \text{ (м/с)}, \tag{1}$$

где  $n$  – частота вращения ротора,  $R_p$  – радиус ротора.

Скорость потока среды меняли от 30 до 70 м/с за счет изменения окружной скорости и радиуса ротора. Содержанием твердой фазы варьировали в пределах 10 – 70 %. Межцилиндровый зазор изменяли от 300 до 700 мкм за счет замены пары статор-ротор. В качестве исходных образцов зерновых использовали пшеницу, кукурузу, ячмень, рожь.

На первом этапе исследований определяли изменение величины напора от процентного содержания твердой фазы в водозерновой среде при различной величине зазора и постоянной скорости потока равной 50 м/с. Величину напора определяли как давление на выходном патрубке РПА и измеряли в кПа. Данные экспериментов представлены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что при содержании твердой фазы 0 %, т.е. чистая вода, напор на выходе из РПА составляет 70 кПа. С увеличением твердой фазы до 65 % напор уменьшается до 10 кПа. Величина зазора также оказывает влияние на величину напора. С увеличением зазора напор увеличивается. Дальнейшими исследованиями было определено влияние скорости потока среды и содержания твердой фазы на напор в РПА (рис. 2). При проведении исследований зазор между статором и ротором оставался постоянным и составлял 500 мкм.

Зависимости, представленные на рис. 2, показывают, что с увеличением содержания твердой фазы и уменьшением скорости потока, давление уменьшается. Исходя из данных зависимостей можно сделать вывод о том, что при приготовлении жидких кормов наиболее эффективно обрабатывать среду с содержанием твер-

дой фазы 50 %, зазором 500 мкм и скоростью потока 50 м/с. При этом давление составляет около 30 кПа.

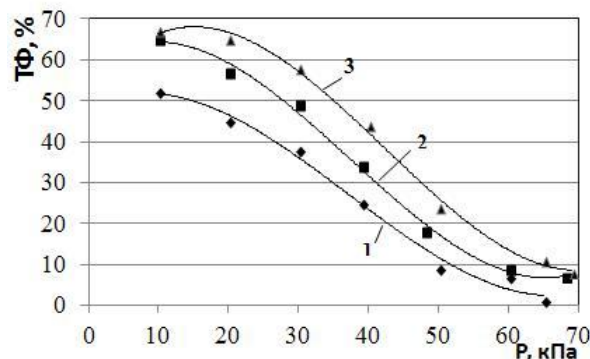


Рис. 1. Зависимость изменения напора Р от процентного содержания твердой фазы ТФ при разной величине зазора (мкм): 1 – 300; 2 – 500; 3 – 700

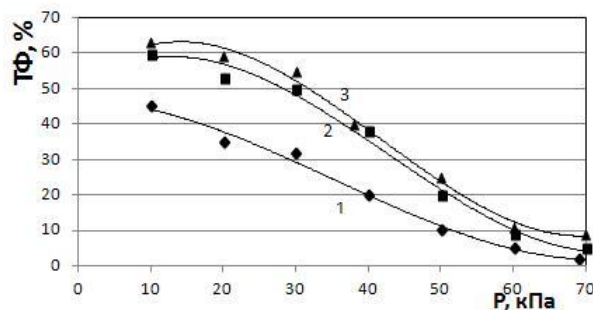


Рис. 2. Зависимость изменения величины напора Р от процентного содержания твердой фазы ТФ при разной скорости потока (м/с): 1 – 30; 2 – 50; 3 – 70

При диспергировании различных растительных материалов в водной среде имеет большое значение расходная характеристика, т.е. производительность РПА (м<sup>3</sup>/ч). На расходные характеристики аппарата будут влиять следующие факторы: содержание твердой фазы, межцилиндровый зазор, скорость потока и давление на выходе из РПА. Сначала были проведены исследования по влиянию количества твердой фазы и величины зазора на расходные характеристики РПА. Скорость потока среды при этом оставалась неизменной и составляла 50 м/с (рис. 3).

С увеличением в обработанной среде твердой фазы от 10 до 60 %, расход уменьшается от 10 до 1 м<sup>3</sup>/ч. Уменьшение зазора от 700 до 300 мкм ведет к уменьшению расхода, при 50 % содержания твердой фазы, от 6,5 до 5 м<sup>3</sup>/ч.

Зависимость изменения расхода зерновой смеси в РПА от количества твердой фазы при различных скоростях потока и постоянной величине зазора равной 500 мкм представлена на рис. 4.

Исходя из данных представленных на рис. 4 можно сделать вывод, что с уменьшением скорости потока и увеличением содержания твердой фазы расход обрабатываемой смеси уменьшается. Так при 10 % твердой фазы, расход снижается от 9 до 6,5 м<sup>3</sup>/ч, а при 40 % твердой фазы от 6 до 2 м<sup>3</sup>/ч.

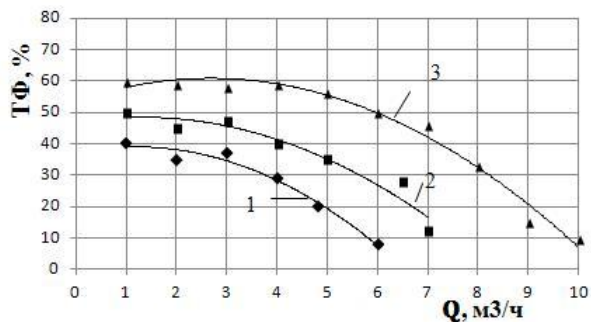


Рис. 3. Зависимость расхода диспергируемой зерновой смеси от содержания в ней твердой фазы при зазорах между ротором и статором (мкм): 1 – 300; 2 – 500; 3 – 700

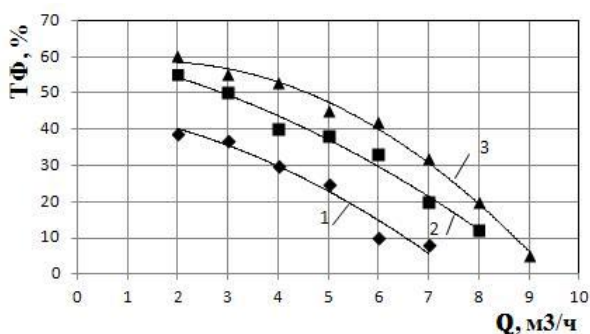


Рис. 4. Зависимость расхода диспергируемой зерновой смеси от содержания в ней твердой фазы при разных скоростях потока (м/с): 1 – 30; 2 – 50; 3 – 70

Интенсивная турбулизация водозерновой смеси в рабочей зоне РПА не способствует эффективному преобразованию механической энергии в потенциальную энергию потока. Вместе с тем, создаваемый таким аппаратам напор имеет большое практическое значение. Вращающийся цилиндр с прорезями можно рассматривать, как колесо центробежного насоса. В этом случае, пользуясь методикой расчета центробежных насосов и применяя теорему импульсов к массе жидкости, протекающей через отверстия, можно получить выражение для массового теоретического  $E_T$  и  $E_0$  напора при нулевом расходе:

$$E_0 = \psi E_T = \psi (\pi n_0)^2 2 S_1 (D_1 + D_2), \quad (2)$$

где  $\psi$  – коэффициент напора;  $D_1, D_2, S_1$  – внутренний и наружный диаметры вращающегося цилиндра и его радиальная толщина.

Объемный расход при действительном напоре  $E$  можно определить по формуле:

$$Q = \phi \cdot F_{cp} \cdot (E_0 - E)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $\phi$  – коэффициент расхода,  $F_{cp}$  – средняя площадь проходного сечения,  $E_0$  – напор при нулевом расходе,  $E$  – действительный напор. Коэффициент расхода  $\phi$  и напора  $E$  зависят от геометрических параметров РПА.

Напорно-расходная характеристика РПА была получена по методике [10] на водозерновой смеси с содержанием твердой фазы 50 %, зазором между статором и

ротором 500 мкм и скоростью потока 50 м/с. Исследования проводили на РПА, снабженный вентилем для изменения расхода и приборами для измерения расхода и давления.

Напорно-расходная характеристика представлена на рис. 5.

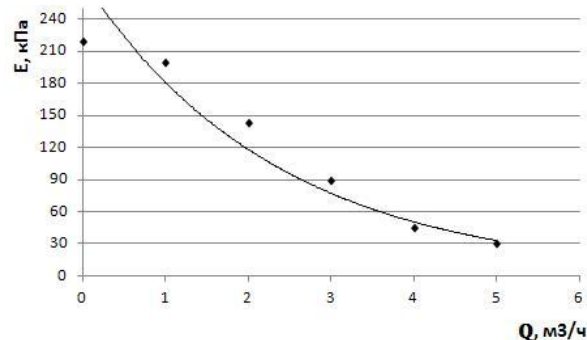


Рис. 5. Зависимость напора  $E$  от объемного расхода  $Q$  РПА при обработке водозерновой смеси

Исследования показали, что при закрытом вентиле (расхода нет) давление на выходе из РПА составляет более 200 кПа. По мере открывания вентиля расход увеличивается, а давление падает. При полностью открытом вентиле расход составляет 5 м³/ч, а давление 30 кПа.

#### 4. Выводы

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что на напорно-расходные характеристики РПА при диспергировании водозерновой смеси оказывают влияние содержания твердой фазы, зазор и скорость потока среды.

С увеличением содержания твердой фазы, уменьшением зазора и скорости потока среды в РПА снижается расход и уменьшается напор. Также установлено, что с увеличением напора водозерновой смеси на выходе из РПА, расход уменьшается.

Полученные результаты позволяют применить их в проектировании промышленных установок по приготовлению жидких кормов для сельскохозяйственных животных.

#### Литература

1. Промтов, М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. [Текст] / М. А. Промтов. – М.: Машиностроение, 2001. – 260 с.
2. Роторно-импульсный аппарат [Текст]: пат. 60182 Україна: МПК В01F 7/28 (2006/01) / Снежкін Ю. Ф.; заявитель и патентообладатель Інститут технічної теплофізики НАНУ. – №201014593; заявл. 06.12.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11. – 4 с.
3. Долинский, А. А. Дискретно-импульсный ввод энергии [Текст]: / А. А. Долинский, Б. И. Басок, А. И. Накорчевский, Ю. А. Шурчкова. – К.: ИТТФ НАНУ, 1996. – 196 с.
4. Proc. International Conf. on Transport Phenomena Science and Technology. Dolinsky A. A. Use of discrete-

- pulse energy input in various production processes / A. A. Dolinsky, G. K. Ivanitsky – Beijing (China): Higher Education Press. 1992. – P. 89 – 100.
5. Noltingk, B. E. Cavitation Produced by Ultrasonics / B. E. Noltingk, E. A. Neppiras // Proc. Roy. Soc. (London), 1950. – Vol. 63B. – P. 674 – 685.
  6. Shima, A. Temperature effects on single bubble collapse and induced impulsive pressure / A. Shima, Y. Tomita, T. Ohno // J. Fluid Engng, 1988. – Vol. 110, №2. – P. 194 – 199.
  7. Подготовка кормов к скармливанню. [Электронный ресурс] / Всесоюзный фермерский портал. – Режим доступа: \www/ URL: http://www.fermer1.ru/organizatsiya-pribylnogo-proizvodstva-svininy\_11 – 23.12.2013 г. – Загл. с экрана.
  8. Ободович, А. Н. Исследования процесса диспергирования зерновых смесей с применением метода дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ) для получения жидких кормов [Текст] / А. Н. Ободович, Б. Х. Драганов, А. Ю. Лымарь // Журн. Промышленная теплотехника – 2013 – Т.35, №5 – С. 9 – 18.
  9. Піроженко, І. А. Гідродинаміка та теплові ефекти в циліндричному роторно-пульсаційному апараті [Текст]: дис. кандидата техн. наук / І. А. Піроженко. – К., 2005. – 161 с.
  10. Балабудкин, М. А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности [Текст] / М. А. Балабудкин. – М. Медицина, 1983. – 159 с.

**В публікації аргументовано необхідність безперервного контролю технічного стану колісних пар вагона під час руху. Проведено математичне моделювання коливань колісної пари при її русі з найбільш розповсюдженими пошкодженнями – короткими ізольованими нерівностями на поверхні кочення коліс. За результатами моделювання вільних і вимушених коливань визначені інформативні діагностичні ознаки методу акустичного контролю колісних пар**

**Ключові слова:** вагон, пара колісна, коливання, вібропереміщення, контроль акустичний, ознаки діагностичні

**В публикации аргументировано необходимость непрерывного контроля технического состояния колесных пар вагона во время движения. Проведено математическое моделирование колебаний колесной пары при ее движении с наиболее распространенными повреждениями - короткими изолированными неровностями на поверхности катания колес. По результатам моделирования свободных и вынужденных колебаний определены информативные диагностические признаки метода акустического контроля колесных пар**

**Ключевые слова:** вагон, пара колесная, виброперемещения, контроль акустический, признаки диагностические

УДК 629.4.083:629.45

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ КОЛІСНОЇ ПАРИ ЯК ОСНОВА МЕТОДУ АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

**І. Е. Мартинов**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою\*

E-mail: martinov.hiit@rambler.ru

**В. В. Бондаренко**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: bonvya@mail.ru

**Д. І. Скуріхін**

Асистент\*

E-mail: skurikhin@i.ua

Кафедра «Вагони»

Українська державна академія залізничного транспорту  
пл. Фейербаха 7, м. Харків, Україна, 61050

## 1. Вступ

Публікація відноситься до області надійності, діагностики та неруйнівного контролю рухомого складу та його частин, а саме присвячена вдосконаленню методу акустичного контролю технічного стану колісних пар вагонів на основі математичного моделювання. Основні аспекти розробленого методу детально викладено у публікаціях [1 – 3].

## 2. Аналіз літератури

Короткі ізольовані нерівності на поверхні кочення коліс є одними з найпоширеніших пошкоджень ходових частин вагонів, які знижують довговічність осей колісних пар та підшипників буксових вузлів [4]. Дані пошкодження при укочуванні утворюють нерівномірний прокат, який особливо небезпечний при підвищених швидкостях руху (120-160 км/год) і важко піддається виявленню в експлуатації. У місцях