

Т.С.ТАЖИБАЕВ,  
М.Ж. ХАЗИМОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАВИТАЦИОННЫХ  
ДИСПЕРГАТОРОВ ДЛЯ ПЛОДОВ, ЯГОД И ОВОЩЕЙ  
(монография)



$$C = \frac{n \sqrt{Q}}{(\Delta h_{sp})^{1/4}} = 5.62 \frac{n \sqrt{Q}}{\Delta h_{sp}^{3/4}}$$

АЛМАТЫ 2017

Министерство образования и науки Республики Казахстан  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Т.С.ТАЖИБАЕВ, М.Ж. ХАЗИМОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАВИТАЦИОННЫХ  
ДИСПЕРГАТОРОВ ДЛЯ ПЛОДОВ, ЯГОД И ОВОЩЕЙ  
(монография)

АЛМАТЫ 2017

УДК 664.8/9: 664.011/013  
ББК 36.91Я73

Рецензенты:  
Умбетов А.К., д.с.х.н., профессор;  
Умбеталиев Н.А., д.т.н., профессор.

Тажигаев Т.С., Хазимов М.Ж. Теоретические и практические аспекты создания и эксплуатации кавитационных диспергаторов для плодов, ягод и овощей. - Алматы: 2017. - 157с.

ISBN 978-601-241-160-2

В монографии анализируются возможности использования кавитационных диспергаторов для тонкодисперсного измельчения плодов, ягод и овощей вместе с кожурой и семенами, описываются различные конструкции существующих кавитационных устройств, состояние и проблемы производства поресобразной продукции из плодовоовощного сырья. Представлены результаты исследований по созданию кавитационных измельчителей, результаты испытания этих установок при измельчении плодов, ягод и овощей а также качественные характеристики полученной продукции.

Для научных работников, студентов, магистрантов, PhD докторантов и специалистов, работающих в области агропромышленного комплекса.

УДК 664.8/9: 664.011/013  
ББК 36.91Я73

Рекомендованы к публикации НТС НИИ Агроинновации и экологии КазНАУ (протокол № 6 от 06 сентября 2017г.)

ISBN 978-601-241-160-2

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АСВ - абсолютно сухое вещество;  
БАВ - биологически активные вещества;  
ВВП - биологическая ценность потенциальная;  
ВЛУ - винтовое лабиринтное уплотнение;  
ГАРТ - гидродинамические аппараты роторного типа;  
ГМД - гидромеханические диспергаторы;  
ПАРТ - пульсационные аппараты роторного типа;  
ПДК - предельно допустимая концентрация;  
РАГ - роторные аппараты гидродинамические;  
РАМП - роторный аппарат с модуляцией потока;  
РТГ - роторные гидродинамические излучатели;  
РВ - редущие вещества;  
РИА - роторно-импульсные аппараты;  
РПА - роторно-пульсационный аппарат;  
СГД - сирена гидродинамическая;  
ТС - технологические системы;  
ФАО - продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН;  
ФХП - физико-химические процессы;  
Основные обозначения:  $a, b$  - характерная длина, м;  
С - концентрация, % масс.; молярная теплоемкость, Дж/моль·К;  
D - коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  
d - диаметр, м;  
g - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
f - функция;  
h - высота, м;  
j - интенсивность турбулентных пульсаций;  
M - молярная масса, кг/моль;  
P - давление, Па;  
Q - объемный расход, м<sup>3</sup>/с;  
t - время, с;  
V - объем, м<sup>3</sup>;  
x, y, z - координаты, м;  
a - объемная доля содержания свободного газа в жидкости;  
S - коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м;  
v - коэффициент кинематической вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с;  
p - плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>;

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Кавитация – разрыв сплошности жидкости под действием растгивающих напряжений, приводящих к образованию пузырьков, наполненных газом и паром;  
 Диспергирование – измельчение продукции до однородной массы определенной консистенции;  
 Турбулентность – интенсивное перемешивание жидкости, пульсации скорости и давления в жидкости при ее течении;  
 Гидроудар – результат резкого изменения давления в жидкости, вызванный мгновенным изменением скорости ее течения в трубопроводе;  
 Капиллярный эффект – проникновение жидкости в узкие каналы (капилляры), обусловленное явлениями смачивания или не смачивания поверхности капилляра;  
 Сепарация – разделение гетерогенной среды на составляющие;  
 Бланширование – кратковременная обработка плодов и овощей горячей водой или паром;  
 Инверсия фаз – переход вещества из одного агрегатного состояния в другое;  
 Вихрь – порывистое круговое движение жидкости;  
 Функция тока – скалярная функция пространственных координат и времени;  
 Противоток – направление движения встречное течению потока;  
 Тепловой агент – рабочее тело используемое при конвективном нагреве.  
 Полиэтилен – синтетический мягкий материал получаемый при полимеризации этилена;  
 Семечковые – группа плодовых культур объединяющая такие культуры как яблоня, груша, айва и т.д., имеющие общее строение семян в виде семечек;  
 Ягодные – группа плодовых культур объединяющая такие культуры как малина, клубника, облепиха, смородина и т.д., имеющие общее строение семян и плода;  
 Биологически активные вещества (БАВ) – химические вещества из состава плодов и овощей, оказывающие полезное воздействие на человеческий организм;

| СОДЕРЖАНИЕ                                                                                                            |  | Стр |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                         |  | 7   |
| 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА .....                                                                         |  | 11  |
| 1.1 Маркетинговый анализ производства и переработки плодовоошной продукции в Республике Казахстан.....                |  | 11  |
| 1.2 Особенности и методы получения пастообразных продуктов из плодов и овощей .....                                   |  | 22  |
| 1.2 Классификация кавитационных аппаратов. Эффективность кавитационного измельчения продуктов.....                    |  | 22  |
| 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ .....                            |  | 63  |
| 2.1 Основы кавитации жидкости.....                                                                                    |  | 63  |
| 2.1.1 Кавитационные характеристики лопастных аппаратов                                                                |  | 66  |
| 2.1.2 Методика расчета оптимального пульсационного аппарата роторного типа на основе многофакторной оптимизации ..... |  | 74  |
| 2.1.3 Обоснование гидравлического замкнутого контура                                                                  |  | 86  |
| 2.1.4 Гидравлический расчет выбранного контура .....                                                                  |  | 89  |
| 2.2 Результаты теоретических исследований .....                                                                       |  | 93  |
| 3 РАСЧЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗАЦА ДИСПЕРГАТОРА.....                                                                |  | 96  |
| 3.1 Технологическая схема проектируемого кавитационного аппарата .....                                                |  | 96  |
| 3.2 Расчет стенки резервуара.....                                                                                     |  | 103 |
| 3.3 Расчет корпуса .....                                                                                              |  | 104 |
| 3.4 Расчет на прочность цилиндрической обечайки ротора под внутренним давлением .....                                 |  | 107 |
| 3.5 Расчет бобышки .....                                                                                              |  | 108 |
| 3.6 Выбор электродвигателя .....                                                                                      |  | 111 |
| 3.7 Расчет штуцера .....                                                                                              |  | 112 |
| 3.8 Расчет муфты .....                                                                                                |  | 114 |
| 3.9 Расчет крышки резервуара .....                                                                                    |  | 114 |
| 4 РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗАЦА ДИСПЕРГАТОРА .....                                                           |  | 118 |
| 4.1 Программа работ .....                                                                                             |  | 118 |
| 4.2 Методика выполнения работ .....                                                                                   |  | 118 |

|       |                                                                                                                                                  |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.1 | Составление технического задания на разработку<br>конструкторской документации для изготовления<br>экспериментального образца диспергатора ..... | 118 |
| 4.2.2 | Разработка конструкторской документации для<br>изготовления экспериментального образца<br>диспергатора .....                                     | 118 |
| 4.2.3 | Изготовление экспериментального образца<br>диспергатора .....                                                                                    | 119 |
| 4.3   | Результаты работ .....                                                                                                                           | 120 |
| 4.3.1 | Составление технического задания на разработку<br>конструкторской документации для изготовления<br>экспериментального образца диспергатора ..... | 120 |
| 4.3.2 | Разработка конструкторской документации для<br>изготовления экспериментального образца<br>диспергатора .....                                     | 120 |
| 4.3.3 | Изготовление экспериментального образца<br>диспергатора .....                                                                                    | 120 |
| 5     | ТЕХНОЛОГИИ КАВИТАЦИОННОГО<br>ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЛОДОЯГОДНОГО И<br>ОВОЩНОГО СЫРЬЯ И КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ<br>ПРОДУКЦИИ .....                                 | 128 |
|       | ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                                 | 148 |
|       | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ<br>ИСТОЧНИКОВ .....                                                                                                        | 150 |

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время важное значение приобретает производство натуральных, экологически безопасных продуктов питания – биопродуктов. В этом отношении Казахстан в настоящее время занимает уникальное положение в связи с практически полным отсутствием производства генетически модифицированного продовольственного сырья и наличием благоприятных земельных ресурсов для производства биопродуктов.

С другой стороны, для переработки биопродукции необходимы экологически безопасные технологии.

Экологическая чистота продуктов питания становится одной из важнейших социально-экологических характеристик, особенно в зонах экологической напряженности. Одним из таких подходов к экологически безопасной переработке являются технологии, основанные на гидромеханических воздействиях с элементами кавитационных проявлений и нанотехнологий.

Рассматриваемые установки и технологии с использованием диспергаторов кавитационного действия могут перерабатывать все виды растительного сырья: ягоды, грибы, овощи, фрукты, с получением натуральных компонентов, которые могут использоваться как самостоятельные биопродукты: ягодные, овощные и фруктовые желе, конфитюры, соки, так и исходным сырьём для получения широкого ассортимента различной продукции: пасты, муссы и т.д. Данные технологии могут быть различными по производительности от нескольких килограммов до тонн и предназначены для переработки всех видов сырья: ягод, овощей, фруктов, грибов и т.д.

Существующие технологии переработки являются, как правило, материалоемкими, энергозатратными и зачастую не отвечают требованиям потребителя в области качества продукции. Анализ научных публикаций показывает, что одним из наиболее перспективных типов диспергирования и переработки является гидромеханическое диспергирование с использованием роторно-пульсационных аппаратов [1-3].

Интенсификация процессов диспергирования может быть достигнута применением гидромеханических диспергаторов, в которых реализуются нестационарные гидромеханические процессы.

Подписано в печать 02.10.2017 г.  
Формат 108х90 1/16. Объем 10 п. л.  
Тираж 100 экз. Заказ № 149.