

Список использованных источников

1. Хозяйственные резервы приготовления комбикормов / А. Д. Селезнев [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 6. – С. 38–40.
2. Протокол государственных приемочных испытаний ГУ «Белорусская МИС» комплекта автоматизированного оборудования для производства полнорационных комбикормов КОКК-10 от 25.05.2018 г. № 052Д 1/4 ИЦ-2018.

УДК: 631 363:636.085

Поступила в редакцию 05.05.2019
Received 05.05.2019

Романович А. А.

УО «БГАТУ», г. Минск, РБ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОФУРАЖА

В статье представлены теоретические исследования параметров гидродиспергатора для измельчения зернофуража посредством кавитационного воздействия.

Ключевые слова: зернофураж, кавитация, гидродиспергатор, насос, производительность.

A. A. Romanovich

UO "BSTU", Minsk, Belarus

THEORETICAL STUDIES OF THE HYDRO-DISPERSANTER PARAMETERS FOR GRINDING THE CEREAL

The article presents theoretical studies of the parameters of a hydrodisperser for grinding grain fodder by means of cavitation.

Key words: grain fodder, cavitation, hydrodisperser, pump, productivity.

Введение

В Республике Беларусь ежегодно убирается свыше 4 млн.т зерна на фуражные цели. Однако, как показали проведенные в РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» исследования, переваримость консервированного зерна составляет 60–65%, что явно недостаточно[1]. С целью повышения переваримости и усвояемости консервированного плющеного зерна, необходимо провести исследования по изысканию наиболее рентабельного способа его дальнейшей переработки.

В мировой практике известны методы и технологии обработки зернового сырья с целью повышения его переваримости и усвояемости.

Представляет интерес малоизученная гидротермическая механизированная обработка зерна, которая осуществляется с помощью различных установок. В таких установках обработка зерна осуществляется в водной среде без доступа кислорода, в специально спрофилированных насадках, за счет гидродинамических процессов.

Основная часть

Кавитация (лат. *cavitas* – пустота) – явление разрыва капельной жидкости под действием растягивающих напряжений, возникающих при разрежении в рассматриваемой точке жидкости. При разрыве капельной жидкости образуются полости кавитационные пузырьки, заполненные паром, газом или их смесью. Следовательно, разрыв жидкости обусловлен изменением характеристик поля скоростей и давлений.

Устройства, создающие гидродинамическую кавитацию, называются гидродиспергаторами. В процессе обработки зернового материала в гидродиспергаторе обрабатываемая среда подвер-

гается механическому и гидродинамическому (кавитационному) воздействиям. При гидродинамической обработке зерна одновременно происходят три процесса: измельчение, смешивание и нагрев, что объясняется наличием кавитации.

Параметром, характеризующим процесс, является степень развития (стадия) кавитации, которая характеризуется отношением:

$$\beta_k = \frac{K}{K_{кр}} = \frac{p_{хар} - p_{кр}}{2\rho v_{хар}^2 \sin \alpha}, \quad (1.5)$$

где K – коэффициент кавитации в данных условиях работы;

$K_{кр}$ – то же в условиях начала возникновения кавитации;

$p_{хар}$ – абсолютное давление вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений, кПа;

$p_{кр}$ – критическое давление, с учетом влияния выделяющихся воздуха из жидкости при кавитации и наличия твердых взвешенных частиц, кПа;

ρ – плотность водно-зерновой смеси, кг/м³;

$v_{хар}$ – абсолютная скорость потока вблизи обтекаемого тела без учета вызванных им возмущений, м/с;

α – угол сужения трубопровода, град.

Кавитационные разрушения и их интенсивность зависят от формы, стадии кавитации, очертаний обтекаемого тела, содержания в воде воздуха, скорости потока, а также вида материала кавитируемого тела. При некотором значении $\beta = \beta_0$ (рис. 1), в стадии развившейся кавитации, возникают максимальные кавитационные разрушения. В начальной же стадии и в стадии суперкавитации разрушения существенно меньше или вообще могут отсутствовать – особенно при непродолжительных кавитационных воздействиях [2].

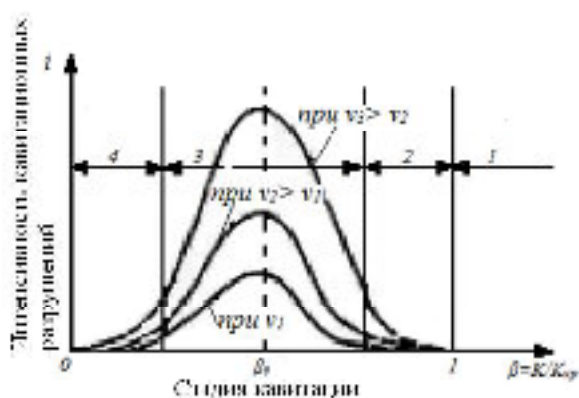
Начальная стадия появляется при больших разрежениях, приводящих к разрыву жидкости. Существуют различные формы начальной стадии кавитации: пузырьчатая, пленочная, в виде вихревых шнуров.

Из формулы, характеризующей число кавитации, видно, что для получения одного и того же числа кавитации нужно либо увеличить скорость потока (знаменатель), либо увеличить давление $p_{кр}$ путем вдувания газа и увеличением температуры обрабатываемой смеси (уменьшить числитель).

В связи с этим была выдвинута гипотеза о необходимости установки кавитатора, состоящего из двух рабочих органов. Один из них должен увеличивать давление смеси до порогового значения, чтобы образованные ранее пузырьки переросли в пульсирующие каверны и, при последующем резком сбросе давления, начали захлопываться, создавая кратковременные импульсы давления, способные разрушить частицы зернофуража, находящегося рядом.

Второй рабочий орган должен разделять поток обрабатываемой смеси на множество мелких струй, обогащая при этом смесь кислородом, что, в свою очередь, позволит увеличить количество парогазовых пузырьков.

В результате поисковых исследований, в качестве рабочих органов гидродинамической установки, создающих эффект кавитации, были выбраны решето и конический патрубок [3–5]. Функция решета заключается в создании дополнительных течений в сплошном потоке жидкости (усиленного турбулентного течения) и частичном механическом разрушении измельчаемых частиц.



1 – бескавитационный режим; 2 – начальная стадия;
3 – развившаяся кавитация; 4 – суперкавитация

Рис. 1 – Схематический график зависимости интенсивности кавитационных разрушений i от стадии кавитации $\beta = K/K_{кр}$

Таким образом, для интенсификации явления кавитации, можно увеличить скорость потока (при помощи ускоряющего патрубка), увеличить давление $p_{кр}$ путем обогащения смеси кислородом (при помощи решета), а также увеличить температуру обрабатываемой смеси путем дополнительного нагрева. А это значит, что компоновочная схема гидродинамической установки будет выглядеть согласно рис. 2.

Для определения геометрических параметров бункера гидродиспергатора необходимо руководствоваться количеством животных, содержащихся на ферме, структурой стада, а также рационом кормления.

Так как в бункер гидродиспергатора загружаются только концентрированные корма, проведем расчет их количества для ферм различных размеров.

Поскольку, на животноводческих фермах, раздачу кормов осуществляют два или три раза в день, то разовую массу загружаемых в гидродиспергатор концентрированных кормов, можно вычислить по формуле:

$$M_p = \frac{M_c}{k_k}, \quad (1)$$

где: M_c – суточная масса концентрированных кормов, кг;

k_k – кратность кормления животных на ферме.

Чтобы обеспечить разовую порцию зерновой пасты, необходимо приготовить следующий объем зерновой пасты:

$$V_p = \frac{M_p + M_B}{\rho_{з.п.}}, \quad (2)$$

где: M_B – масса воды заливаемой в бункер гидродиспергатора, кг;

$\rho_{з.п.}$ – плотность зерновой пасты, кг/м³.

Масса воды, заливаемой в бункер гидродиспергатора, будет зависеть от влажности готовой зерновой пасты, и определяться по формуле:

$$M_B = M_p \cdot B, \quad (3)$$

где B – влажность зерновой пасты, %.

Плотность зерновой пасты будет равна сумме плотностей всех компонентов, входящих в состав готовой зерновой пасты, в зависимости от их количества в общей массе. Подставив в выражение 2 уравнение 3, общий объем зерновой пасты можно определить по формуле:

$$V_p = \frac{M_p + M_p \cdot B}{\rho_{з.п.}} = \frac{M_p (1 + B)}{\rho_{з.п.}}. \quad (4)$$

Транспортирующим рабочим органом гидродиспергатора является насос. Существует большое количество видов насосов, однако наиболее распространенным и простым по конструкции является центробежный насос. В связи с чем, применение данного типа насоса целесообразно для перемещения водно-зерновой смеси по замкнутому контуру гидродиспергатора.

При выборе насоса обычно опираются на два показателя – производительность и напор. Однако при одном и том же значении производительность может быть разной и наоборот. В связи с чем, обычно определяют, какой из показателей является наиболее важным и по нему выбирают марку насоса.

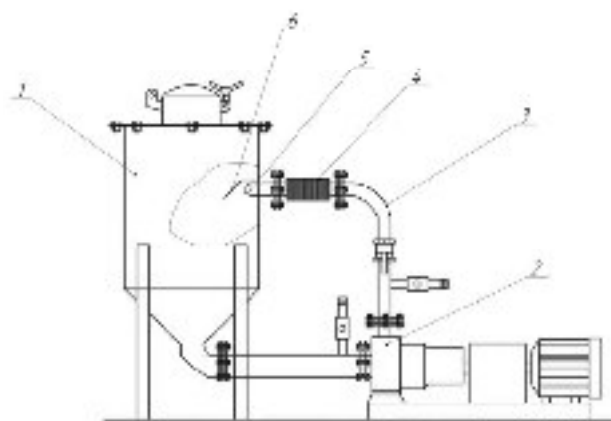


Рис. 2. – Схема экспериментальной гидродинамической установки

В нашем случае – чем больше производительность насоса, тем большее количество раз одна и та же частица зерна пройдет через кавитатор, а, следовательно, и с большей вероятностью измельчиться. С другой стороны – чем больше напор, тем больше давление в ускоряющей трубке от которого зависит интенсивность кавитации, а, следовательно, и скорость измельчения. Из выше изложенного следует, что желательно, чтобы и производительность и напор были максимальны, однако в таком случае цена и удельные энергозатраты на процесс также возрастают.

Для выбора необходимых характеристик насоса был рассмотрен модельный ряд центробежных насосов производства Валдайского механического завода [6]. Для удобства анализа модельный ряд был отсортирован по производительности насоса, а затем по представленным данным были построены зависимости стоимости (рис. 3, а) и потребной мощности (рис. 3, б) от создаваемого напора для различной производительности.

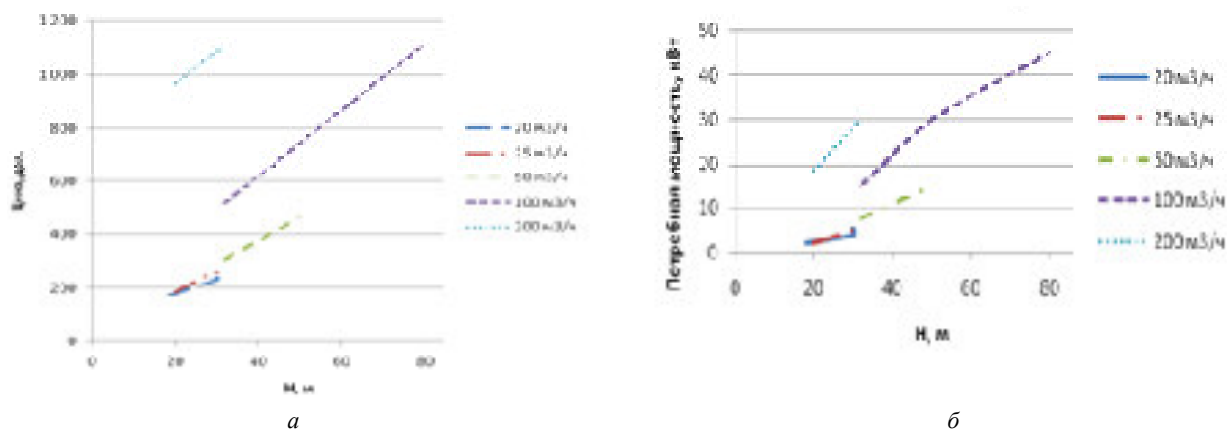


Рис. 3. – Зависимости стоимости и потребной мощности от создаваемого напора для различной производительности

Из представленных зависимостей видно, что при увеличении производительности насоса до 200 м³/ч цена, необходимая мощность увеличиваются в разы, а создаваемый напор находится на уровне ниже среднего. Следовательно, применение таких насосов нецелесообразно.

Для уточнения выбора насоса модельный ряд был отсортирован по напору создаваемому насосам, а затем, по представленным данным, были построены зависимости стоимости (рис. 4, а) и потребной мощности (рис. 4, б) от производительности для различного напора.

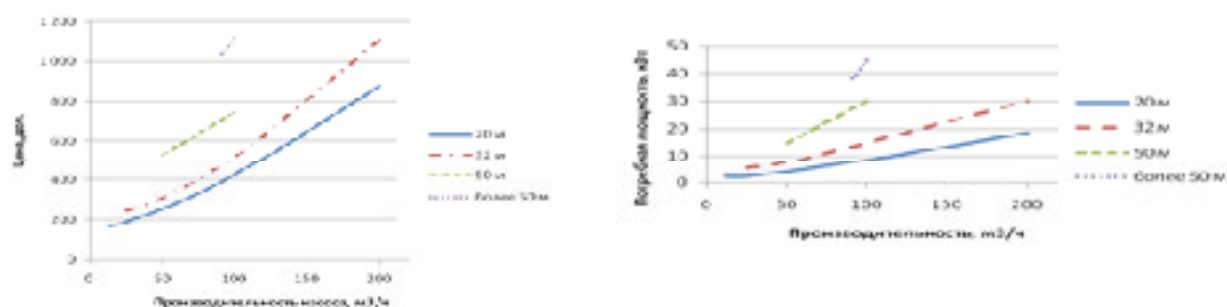


Рис. 4. – Зависимости стоимости и потребной мощности от производительности для различного напора

Из представленной зависимости видно, что при увеличении создаваемого насосом напора свыше 50 м цена и потребная мощность увеличиваются в разы, а производительность при этом остается не очень высокой. Следовательно, применение таких насосов не целесообразно.

Таким образом, из представленных на рис. 3 и 4 зависимостей видно, что производительность насоса не должна превышать 200 м³/ч, а напор, создаваемый насосом 50 м. В случае необходимости переработки большего количества зерновой пасты, а, следовательно, превышения данных показателей целесообразно использовать несколько гидродиспергаторов.

В процессе транспортирования водно-зерновой смеси через кавитатор должно происходить измельчение частиц зерна, следовательно, производительность насоса можно выразить через

объем зерновой пасты необходимый для одного кормления всего поголовья животных измельченной до необходимой фракции.

$$Q_H = \frac{V_p}{tP_{и}}, \quad (5)$$

где: V_p – объем зерновой пасты, м³;

t – время обработки, с;

$P_{и}$ – вероятность измельчения зерна.

Вероятность измельчения частицы зерна можно определить по формуле:

$$P_{и} = 1 - e^{-\frac{2\beta\sigma l_{нз} R_3}{3k_3 P_{хар} l_{кз} R}}. \quad (6)$$

Подставив выражения, полученные в зависимости, определим искомую производительность насоса гидродиспергатора:

$$Q_v = \frac{V_p}{t} \left(1 - e^{-\frac{2\beta\sigma l_{нз} R_3}{3k_3 P_{хар} l_{кз} R}} \right), \quad (7)$$

где: $l_{нз}$ – наибольший начальный размер зерна, м;

$l_{кз}$ – наибольший конечный размер зерна, м.

R_3 – сила необходимая для разрушения зерна, Н;

R – сила с которой струя кормосмеси воздействует на фронтальную поверхность решета, Н.

σ – разрушающее контактное напряжение, Па;

k_3 – коэффициент, учитывающий влажность зерна и степень его обработки;

β_k – степень развития кавитации.

Из представленной зависимости видно, что выбирать производительность насоса следует, опираясь на необходимый объем зерновой пасты, а также на время, которое необходимо потратить для приготовления корма. Для того чтобы процесс измельчения зернофуража протекал наиболее эффективно, необходимо чтобы в гидродиспергаторе была развившаяся кавитация.

Заключение

В результате теоретических исследований предложена компоновочная схема гидродинамической установки. Получена зависимость для определения общего объема зерновой пасты. Проведены теоретические исследования и построены графические зависимости для выбора транспортирующего насоса гидродиспергатора. Из которых видно, что производительность насоса не должна превышать 200 м³/ч, а напор, создаваемый насосом, – 50 м. В случае необходимости переработки большего количества зерновой пасты, а, следовательно, превышения данных показателей целесообразно использовать несколько гидродиспергаторов. Кроме того, получена теоретическая зависимость для определения производительности насоса, опираясь на необходимый объем зерновой пасты, а также на время, которое необходимо потратить для приготовления корма.

Список использованных источников

1. Романович, А. А. Энергетическая эффективность технологии измельчения влажного зерна / Китун А. В. [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы : сб. научных статей. – Гродно, 2009. – Ч. 1. – С. 42–45.
2. Рауз, Х. Механика жидкости / Х. Рауз. – Москва: Наука, 1967. – 115 с.
3. Шестаков, С. Д. Основы теории процессов и аппаратов кавитационной дезинтеграции: дис. д-р техн. наук: 05.20.01 / С. Д. Шестаков. – Москва, 2001. – 128 л.
4. Справочник по гидросопротивлениям / Е. И. Идельчик. – Москва: Наука, 1992. – 354 с.
5. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – Москва: Машиностроение, 1971. – 672 с.
6. Официальный Интернет портал ООО «Валдайский механический завод» [Электронный ресурс] / ООО «Валдайский механический завод». – Режим доступа: <http://vldmz.ru/> Дата доступа: 20.08.2019.