

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ДЕГИДРАТАЦИИ ПРОТЕИНОСОДЕРЖАЩИХ СУБСТРАТОВ

Грецов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-012-70-86.

Мишанин Александр Леонидович, канд. тех. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Янзина Елена Владимировна, канд. пед. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440014, г. Пенза, ул. Байдукова, д.1а.

Тел.: 8(841-2) 49-54-41.

Ключевые слова: корм, субстрат, силы, жидкость.

В статье рассматривается вопрос о получении концентрированных кормов на основе белковых субстратов. Обосновывается необходимость вытеснения влаги из мясо-рыбных отходов с целью их последующей переработки. Представлены аналитические выражения по определению формы компрессионного ножа устройства.

Получение концентрированных кормов на основе белковых субстратов является наиболее трудоемкой задачей современного кормопроизводства. При этом разделение субстрата на жидкую и квазетвердую фракцию представляет собой достаточно сложную техническую задачу. В данной работе исследуется потенциальная возможность повышения содержания животного протеина при отжиме мясо-рыбной массы [1, 4, 8].

Цель исследования – аналитическое обоснование конструкции рабочего органа, обеспечивающей максимальное давление в точках контакта с вязкой средой, в задачу исследования входило определение формы передней кромки компрессионного ножа с учетом геометрических и динамических факторов, обеспечивающих эффективное сжатие.

Наиболее эффективными в настоящее время являются установки непрерывного действия. Такие установки невозможны без использования вращательного движения, в результате которого на «входе» имеется исходный материал (мясной субстрат), а на выходе – конечный и сопутствующие продукты. Динамика вращательного движения должна быть такой, чтобы обеспечить максимально возможный выход жидкости и воздуха из межфрагментарных пространств мясо-рыбо-костного субстрата.

При контакте вращающейся поверхности с некоторым количеством субстрата фрагмент последнего испытывает на себе действие центробежных сил и силы реакции динамического напора. Инерционные силы, сила трения можно считать пренебрежимо малыми, так как коэффициент трения субстрата по металлу ничтожно мал [3].

Таким образом, при рассмотрении действия контактной поверхности на элемент субстрата (в настоящих и последующих рассуждениях под элементом понимается частица бесконечно малого объема с массой dm) при вращательном движении вокруг вертикальной оси на упомянутый элемент действуют две элементарные силы:

$$dF_{ц.б.} = dm \cdot \omega^2 r, \quad dF_{р.д.н.} = \rho(r) \cdot \omega^2 r^2 dS, \quad (1)$$

где $F_{ц.б.}$ – центробежная сила, кг·м/с²;

m – масса, кг;

ω – угловая скорость, с⁻¹;

r – переменный радиус, м;

$F_{р.д.н.}$ – сила реакции динамического напора, кг·м/с²;

ρ – плотность, кг/м³;

dS – проекция элемента поверхности на плоскость, нормальную к вектору динамического напора, м²;

При вертикальном положении оси сила тяжести не будет влиять на динамику процесса; о силе тяжести было сказано выше.

Особо следует остановиться на силе динамического напора. Дело в том, что при стационарном режиме ($\omega = \text{const}$) сила динамического напора $F_{\text{д.н.}} = \int^S \rho(r) \cdot \omega^2 r^2 dS$ и сила реакции на неё уравниваются друг друга. А это значит, что в некоторой контактной области субстрат будет подвергаться уплотнению, а последующие гипотетические слои, в связи со значительным содержанием влаги, будут как бы «скользить» в сторону наименьшего давления [5, 7].

В связи с этим необходимо рассмотреть следующий вопрос. Вытеснение жидкости из межфрагментарных пространств возможно только при несвободном (стесненном) сжатии. В случае воздействия динамического напора сжатие будет свободным (нестесненным), вследствие чего компрессионный эффект будет незначительным (по теории энергетических состояний пластичная среда будет просто «перетекать» туда, где её энергия будет наименьшая, то есть сопротивления практически не будет, а жидкость практически несжимаема) [3].

Таким образом, главным и определяющим силовым фактором будет центробежная сила, действующая на каждый элемент обрабатываемого субстрата. Элемент субстрата под действием этой силы с возрастающей скоростью будет отдаляться от центра вращения, сама перерабатываемая масса будет деформироваться и реструктурироваться. При наличии любого значимого препятствия имеющаяся влага, вследствие несжимаемости, будет «вытекать» в направлении наименьшего сопротивления, а плотные частицы будут задерживаться. Это приведет к разделению субстрата на фракции: плотную (квазитвердую), жидкую и газообразную (как сопутствующую). Следовательно, существует некоторое рациональное значение силы сопротивления, создаваемого либо особой геометрической формой контактной поверхности, либо встречным геометрическим телом (рис. 1).

Пусть в направлении, близком к горизонтальному, от поверхности вала к стенке корпуса вдоль передней кромки рабочего органа движется элемент субстрата. Какой должна быть линия передней кромки, чтобы этот элемент, плавно перемещаясь в указанном направлении, испытывал всё большее сопротивление передвижению (то есть «торможение», сдавливание, отделение жидкой фазы), достигая стенки корпуса с максимальной окружной скоростью?

В качестве основного и единственного фактора, влияющего на движение элемента, принимается центробежная сила: $dF_{\text{ц.б.}} = dm \cdot \omega^2 r(\varphi)$, а фактором, затрудняющим передвижение элемента к стенке корпуса и искривляющим его траекторию, является сила реакции воображаемой кромки на центробежную силу [9]. Объясняется это тем, что в стационарном режиме сила давления динамического напора и сила реакции на неё в каждой конкретной точке передней кромки ножа уравниваются, то есть их сумма равна нулю.

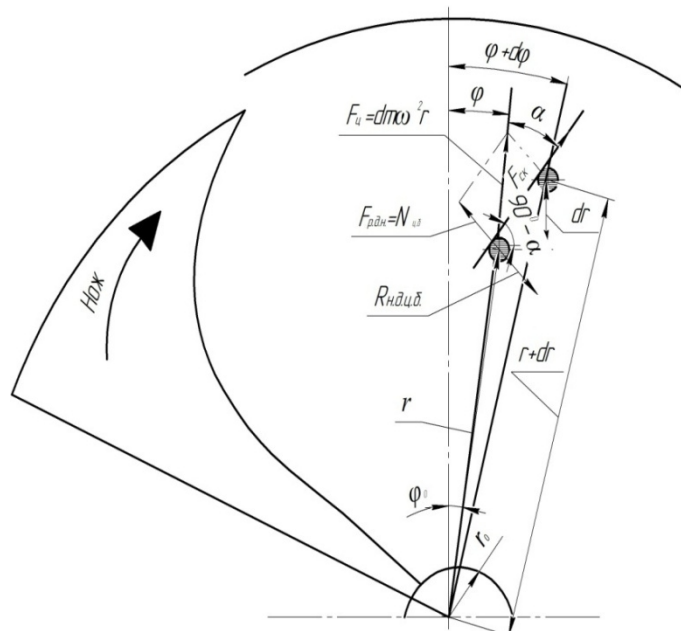


Рис. 1. Схема движения элемента субстрата

Из рисунка 1 следует, что сила реакции ($R_{\text{н.д.ц.б.}}$) по модулю равна силе нормального давления ($N_{\text{ц.б.}}$) (компоненту центробежной силы), но противоположна по направлению, то есть:

$$\frac{R_{\text{н.д.ц.б.}}}{dm \cdot \omega^2 r} = \sin \alpha \Leftrightarrow \frac{dm \cdot a_{\text{н.д.ц.б.}}}{dm \cdot \omega^2 r} = \sin \alpha \Rightarrow \frac{a_{\text{н.д.ц.б.}}}{\omega^2 r} = \sin \alpha, \quad (2)$$

где a – ускорение под действием силы реакции нормального давления, $\text{м}^2/\text{с}$;

dm – масса элемента субстрата, кг.

Бесконечно малое перемещение элемента субстрата можно описать уравнением (рис. 1):

$$\frac{dr}{rd\varphi} = ctg\alpha, \quad (3)$$

где dr – элементарное приращение радиуса, м;

r – начальный радиус, м;

$d\varphi$ – элементарное приращение угла поворота, град.

Данное уравнение содержит три неизвестные величины и поэтому общего решения не имеет. Однако, задавшись некоторым соотношением между α и φ , можно получить целое семейство частных решений, из которых, руководствуясь эффективностью, можно выбрать наиболее рациональное. Итак, пусть $\alpha = n\varphi$. Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{r \cdot d\varphi} = ctgn\varphi &\Rightarrow \frac{dr}{r} = \frac{\cos n\varphi}{\sin n\varphi} \cdot d\varphi \Rightarrow \ln r \int_{r_0}^r = \frac{1}{n} \int_{n\varphi_0}^{n\varphi} \frac{\cos n\varphi}{\sin n\varphi} d(n\varphi) = \\ &= \frac{1}{n} \ln n\varphi \int_{n\varphi_0}^{n\varphi} \Rightarrow \ln \frac{r}{r_0} = \frac{1}{n} \ln \frac{\sin n\varphi}{\cos n\varphi} \Rightarrow \frac{r}{r_0} = \frac{\sqrt[n]{\sin n\varphi}}{\sqrt[n]{\cos n\varphi}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Так как угол α в конце траектории (возле стенки корпуса) можно считать прямым (что соответствует перпендикулярности вектора скорости и радиуса вращения), то числитель в правой части полученного выражения можно считать равным 1, то есть:

$$r_k = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}}. \quad (5)$$

Для построения линии передней кромки рабочего органа необходимо пользоваться следующей формулой:

$$r_k = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \sqrt[n]{\sin n\varphi}. \quad (6)$$

Но при кинематическом анализе предполагаемого процесса можно убедиться, что необходимости в длинном ряде значений n , и, особенно, в больших n ($n > 4$), нет.

Задавшись рядом значений коэффициента кратности ($n = 1,5; 2; 3; 4$) можно получить различные формы кромки рабочего органа, а также различные относительные размеры этого органа, что необходимо для определения рациональной схемы расположения компрессионных ножей (рабочих органов).

Для проверки полученной формы передней кромки на резистентность используется «правило второй производной» (ускорение движения элемента субстрата):

$$\frac{dr}{d\varphi} = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \frac{1}{n} \cdot (\sin n\varphi)^{\frac{1}{n}-1} \cos n\varphi \cdot n = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot (\sin n\varphi)^{\frac{1-n}{n}} \cdot \cos n\varphi. \quad (7)$$

При $0 < n\varphi < \frac{\pi}{2}$ и $\frac{dr}{d\varphi} > 0$

$$\begin{aligned} \frac{d^2r}{d\varphi^2} &= \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \left(\frac{1-n}{n} \cdot (\sin n\varphi)^{\frac{1-2n}{n}} \cdot \cos n\varphi - (\sin n\varphi)^{\frac{1-n}{n}} \cdot \sin n\varphi \cdot n \right) = \\ &= \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \sin^{\frac{1-n}{n}} ((1-n) \cdot (\sin n\varphi)^{-1} \cdot \cos n\varphi - \sin n\varphi \cdot n) = \\ &= \frac{r_0 \cdot \sin^{\frac{1-n}{n}}}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \left((1-n) \frac{\cos n\varphi}{\sin n\varphi} - n \cdot \sin n\varphi \right) = \\ &= \frac{r_0 \cdot \sin^{\frac{1-n}{n}}}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} ((1-n)ctgn\varphi - n \sin n\varphi). \end{aligned} \quad (8)$$

Так как $n > 1$, а $0 < n\varphi < \frac{\pi}{2}$ то выражение в скобках меньше нуля, а всё, что перед скобкой, больше нуля, из чего следует, что $\frac{d^2r}{d\varphi^2} < 0$. А это значит, что элемент субстрата испытывает торможение при приближении к стенке корпуса.

Из всего вышесказанного следует, что форма линии передней кромки, при данном концептуальном подходе, должна положить начало процессу ламинарного движения субстрата в зону наибольших значений поля давления. Таким образом, целесообразность вогнутости линии передней кромки ножа можно считать доказанной.

Библиографический список

1. Амерханов, Х. А. Стратегия и основные направления развития животноводства России [Электронный ресурс]. – URL: www.dki.ru (дата обращения: 22.05.2013).
2. Безматерных, А. А. Повышение эффективности обработки отходов убоя птицы путем совершенствования конструктивно-режимных параметров охладителя мясокостной муки : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Безматерных Александр Алексеевич. – Пермь, 2010. – 162 с.
3. Горячкин, В. П. Собрание сочинения : в 3 т. – М. : Колос, 1968. – Т.1. – 320 с.
4. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008-2012 годы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/1348.145.htm> (дата обращения: 23.04.2012).
5. Карпин, В. Ю. Повышение эффективности работы технологической линии производства сухих животных кормов путем моделирования процесса работы линии и рабочих органов измельчителя костей сельскохозяйственных животных : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Карпин Владимир Юрьевич. – СПб. ; Пушкин, 2001. – 197 с.
6. Тихонов, Е. А. Повышение энергетической эффективности процессов переработки кости убойных животных за счет оптимизации последовательности технологических операций и методов обработки сырья : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Тихонов Евгений Андриянович. – СПб. ; Пушкин, 2006. – 170 с.
7. Никитин, О. Ф. Гидравлика и гидропневмопривод. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 414 с. : ил.
8. Перспективы развития продовольственного сектора в России [Электронный ресурс]. – URL: <http://protown.ru/information/hide/4491.html> (дата обращения: 18.04.2013).
9. Малинов, Г. И. Повышение эффективности технологических линий утилизации отходов звероводства и птицеводства в сухие животные корма путём оптимизации их состава и совершенствования технических средств : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Малинов Геннадий Иванович. – Петрозаводск, 2003. – 342 с.