

УДК 664.8.022.6

Перспективы совершенствования процесса измельчения растительного сыраКанд. техн. наук **А.В. Кондратов**, arkkond@mail.ru**Н.А. Соловьев, А.В. Дашковецкая**

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье рассмотрены различные способы измельчения растительного сыра с получением двух видов продуктов: пищевых порошков и пищевых суспензий. Предложены технические решения на базе новых абразивных покрытий, получаемых методом гальваностегии и устройств, использующих принципы кавитации. Современное оборудование для абразивного измельчения часто использует терочные рабочие поверхности, выполненные в виде специальных абразивных покрытий, имеющих высокую долговечность и позволяющих одновременно подсушивать получаемые пищевые порошки. К таким покрытиям, в частности относятся абразивные покрытия выполненные методами гальваностегии. В тех случаях, когда требуется получение измельченного пищевого сырья, совмещенного с жидкой фазой, часто используют кавитационные методы его обработки. При модельном описании процессов кавитации пищевое сырье представляют в виде неоднородного материала с дефектами. Плоская модель движения жидкости в полости, которую можно рассматривать как дефект структуры сыра, в этом случае может быть выбрана в виде прогрессивного периодического движения несвободной материальной точки с голономными связями, где понятие материальной точки отождествляется с понятием жидкой частицы. Опираясь на литературные данные и результаты собственных экспериментальных исследований, проведен сравнительный анализ различных измельчителей с оценкой их эффективности по предложенной авторами методике.

Ключевые слова: измельчение; растительное сырье; пищевые порошки; пищевые эмульсии; абразивные покрытия; кавитация; эффективность измельчителей.

Prospects of the improvement of the process of the pulverizing vegetable cheesePh.D. **A.V. Kondratov**, arkkond@mail.ru**N.A. Solovjev, A.V. Dashkoveckaya**

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Different ways of the pulverizing vegetable cheese are considered. In article with get; receive two types of the products: food powder and food. The technical decisions are offered on the base new abrasive covering got by method гальваностегии and mouths using principles. Modern equipment for abrasive from-crushing often uses the a worker to surfaces, executed in the manner of special abrasive covering, having high longevity and allowing simultaneously got food powder. To such covering, in particular pertain of the covering executed by methods. In that events, when is required floor reduced food cheese combined with fluid phase often use methods of its processing. When the model describing the processes of cavitation food raw materials are in the form of an inhomogeneous material defects. The flat model move-thread to liquids in cavities, which possible consider as defect of the structure cheese, in this case it can be selected in the form of progressive periodic motion of a material point constrained with holonomic constraints, where notion of the material point with notion of the fluid particle. Resting in literary data and results of the own experimental studies is organized benchmark analysis different from with estimation of their efficiency on offered author to methods.

Keywords: pulverizing; vegetable raw material; food powder; food mash; abrasive covering; cavitation; efficiency pulverizing.

Процессы измельчения широко распространены во всех пищевых производствах. Особенное значение они имеют при переработке растительного сыра. Принципиально различным их использованием является получение порошковых пищевых добавок и приготовление различных пищевых суспензий. Соответственно с видом

получаемого полуфабриката для этой цели используют их абразивное измельчение (различные поставы и мельницы) и диспергирование (мешалки и кавитаторы).

Современное оборудование для абразивного измельчения часто использует терочные рабочие поверхности, выполненные в виде специальных абразивных покрытий, имеющих высокую долговечность и позволяющих одновременно подсушивать получаемые пищевые порошки. К таким покрытиям, в частности относятся абразивные покрытия выполненные методами гальваностегии [1–8].

Одно из устройств для изготовления таких покрытий изображено на рис. 1. Оно содержит выполненную из токопроводящего материала плоскую плиту 1 и прикатной ролик 2, дозатор 3 подачи абразива, расположенный над плитой 1, и источник 4 постоянного тока, разноименные полюса которого соединены соответственно с плитой и роликом. При работе устройства формируется абразивный материал для рабочих органов технологического оборудования.

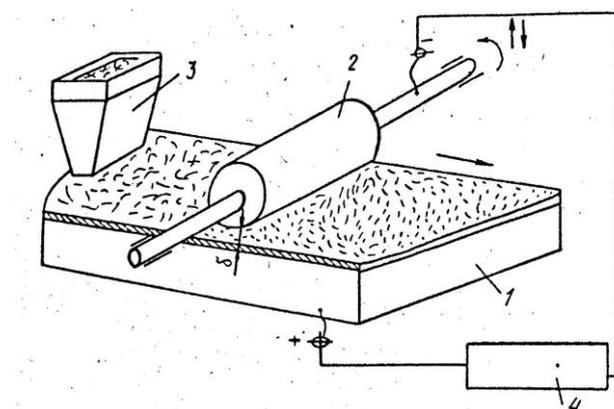


Рис. 1. Устройство для изготовления абразивных рабочих органов

Вновь разработанные абразивные покрытия лишены прежних недостатков: металлическая пленка, прочно удерживая зерна, не дает им выкрашиваться, что долговременно обеспечивает почти постоянную шероховатость и не загрязняет получаемый продукт, кроме того, эта же металлическая пленка отводит генерируемую теплоту за пределы зоны контакта, обеспечивая сохранность всех пищевых веществ в обработанном сырье.

Новые покрытия позволили усовершенствовать целый ряд аппаратов и технологических устройств для обработки пищевых материалов.

Для производства полуфабриката в овощесушильной отрасли разработан абразивный очистительный рабочий орган (рис. 2), реализующий принципы абразивно-импульсного воздействия за счет выбора определенной топологии абразивного покрытия.

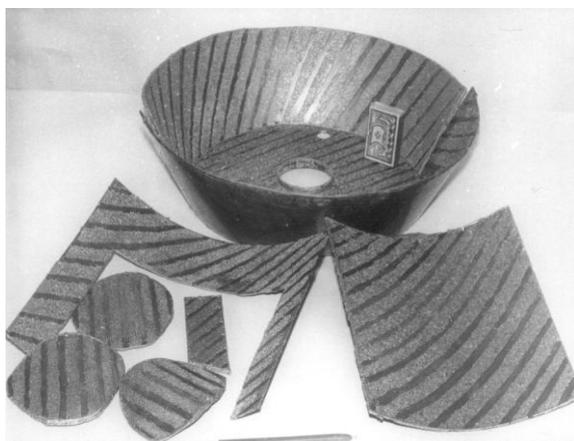


Рис.2. Рабочие органы МОК-250

Такого типа рабочие органы могут быть особенно эффективны при обработке пищевых материалов с твердым наружным покрытием, например, таких как зерно амаранта. При его шелушении в производстве лечебно-профилактического питания может быть использовано устройство, показанное на рис. 3.

Новые абразивные покрытия были предложены и для конструкций по шелушению зерна и помола какао-бобов для кондитерской промышленности (рис.4).

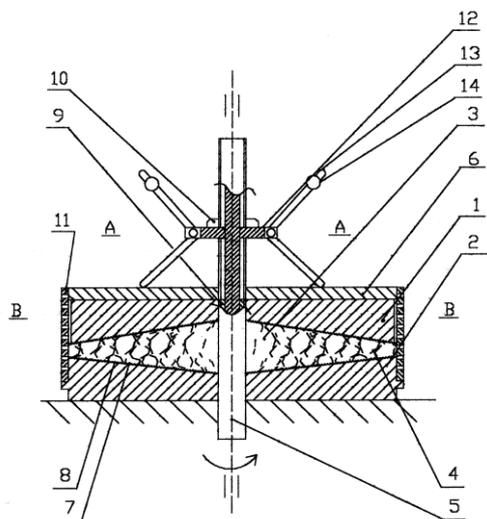


Рис. 3. Устройство для измельчения:
 1 – верхний металлический жернов; 2 – нижний металлический жернов; 3 – заходная зона;
 4 – зона измельчения; 5 – ось вращения; 6 – основание;
 7 – связующий материал; 8 – абразивные зерна; 9 – нижний ограничитель; 10 – верхний ограничитель; 11 – сито;
 12 – ползун; 13 – рычаги; 14 – груз

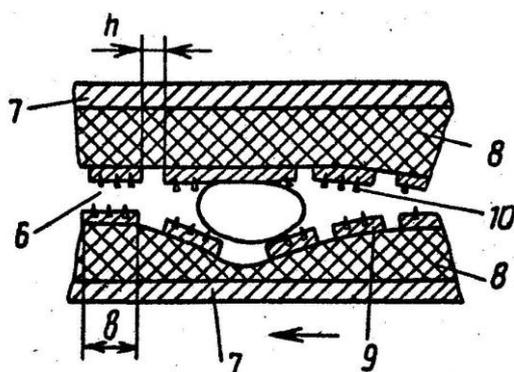


Рис. 4. Шелушильный постав

В шелушильном поставе, включающем станину, корпус, питающий механизм, патрубок для вывода продуктов и терочные элементы, установленные с рабочим зазором b между ними, терочные элементы выполнены многослойными, состоящими из жесткого основания 7, слоя 8 упругого материала и рабочего слоя 9, изготовленного в виде металлической связки с закрепленными в ней абразивными зёрнами 10.

Описанные разработки, каждая из которых защищена соответствующим патентом, предназначены в основном для истирания пищевых продуктов и могут быть применены как для их очистки, так и для получения пищевого порошка.

В тех случаях, когда требуется получение измельченного пищевого сырья, совмещенного с жидкой фазой, часто используют кавитационные методы его обработки [9–14].

При модельном описании процессов кавитации пищевое сырье представляют в виде неоднородного материала с дефектами (порами). Движение жидкости в полости, замыкающейся на поверхности, для таких случаев целесообразно описать способом Лагранжа, позволяющим детально рассматривать локальные характеристики движения жидкости. Плоская модель движения жидкости в полости, которую можно рассматривать как дефект структуры сырья, в этом случае может быть выбрана в виде прогрессивного периодического движения несвободной материальной точки с голономными связями, где понятие материальной точки отождествляется с понятием жидкой частицы.

Если принять, что движение жидкости в дефекте не является функцией времени в явном виде, когда оно осуществляется под воздействием транзитного потока, имеющего постоянную скорость движения, подобное движение можно также рассматривать как автономное движение.

Рассмотрим силы, действующие в движущейся в дефекте жидкости, предполагая, что он имеет форму, близкую по очертанию к эллипсу, и что транзитный поток параллелен большой оси этой эллиптической выемки.

Жидкая граница, или поверхность раздела, между транзитным потоком и жидкостью в выемке предполагается отстоящей от ее центра на расстоянии малой полуоси эллипса.

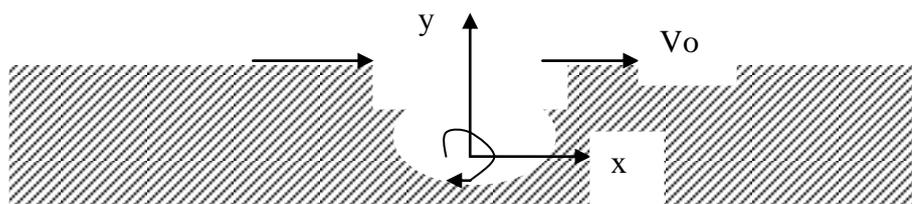


Рис. 5. Схема взаимодействия поверхности с внутренней открытой полостью и обтекающего потока жидкости

На твердую границу дефекта накладывается условие ограничения по ее конфигурации, близкой к эллиптической форме. В результате воздействия транзитного потока на жидкость в выемке в последней возникает вращательное движение. Если не учитывать сопротивления движению жидкости, возникающего от влияния ее твердой и жидкой границ, то это движение, обусловленное указанными геометрическими связями, будет происходить по концентрическим замкнутым траекториям с равномерной окружной скоростью.

Обеспечивающие подобное движение силы могут быть представлены в виде функций окружной скорости движения жидкой частицы вдоль эллиптической траектории. Определим составляющие этой скорости из условия, что движение жидких частиц описывается уравнением эллипса в следующем виде:

$$\Psi = q \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right),$$

где ψ – функция тока;

x, y – текущие координаты жидкой частицы в декартовой системе;

a, b – большая и малая, соответственно, полуоси эллипсов, по которым движется жидкая частица;

q – постоянный параметр.

Составляющая окружной скорости вдоль оси Ox будет равна:

$$U_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{2q}{b^2} y,$$

а составляющая вдоль оси Oy определится как:

$$U_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{2q}{a^2} x.$$

Тогда проекции силы равномерного движения жидкости по эллиптическим траекториям на оси координат можно представить так:

$$N_x = \kappa_1 \cdot u_x = \kappa_1 \cdot \frac{2q}{b^2} y = c_1 y$$

$$N_y = \kappa_2 \cdot u_y = \kappa_2 \cdot \frac{2q}{a^2} x = c_2 x,$$

где $\kappa_1; \kappa_2; c_1; c_2$ – постоянные коэффициенты.

В действительности, рассматриваемое движение жидкости в каверне является неравномерным в течение периода ее обращения за счет возникающих при этом сил сопротивления. Следовательно, во-первых, необходимо учесть внутреннюю силу сопротивления движению жидкости в каверне, возникающую от влияния вязкости, благодаря которой главным образом происходит диссипация энергии, накопленной жидкостью в каверне от транзитного потока.

Эту силу сопротивления можно принять пропорциональной скорости движения жидкости в каверне и представить в виде:

$$T_1 = -\lambda V^n,$$

где λ – некоторый коэффициент пропорциональности;

V – окружная (линейная) скорость неравномерного движения жидкой частицы вдоль эллиптических, но уже неконцентрических траекторий;

n – показатель степени, который может изменяться в пределах $n = 1 \div 2$

Составляющие силы сопротивления T_1 вдоль координатных осей запишутся:
вдоль оси Ox

$$T_{1x} = -\lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^n,$$

а вдоль оси Oy

$$T_{2y} = -\lambda \left(\frac{dy}{dt} \right)^n.$$

Знак минус указывает на то, что силы сопротивления направлены в противоположном направлении скорости движения жидкости.

Во-вторых, кроме указанных сил, должны также быть учтены силы сопротивления, возникающие на поверхности раздела между транзитным потоком и жидкостью в дефекте.

Эти силы можно записать в виде функции относительной скорости движения жидкости на поверхности раздела, выразив ее через скорость транзитного потока v_0 и соответствующую неравномерность окружной скорости движения жидкости в дефекте вдоль оси Ox $\frac{dx}{dt}$.

Тогда имеем:

$$T_2 = \varphi \left(v_0 \pm \frac{dx}{dt} \right).$$

Знак \pm перед производной $\frac{dx}{dt}$ показывает, что в общем случае скорость движения жидкости в дефекте может отличаться от скорости транзитного потока на некоторую величину. Для наглядности возьмём здесь знак минус, предполагая, что при подобном взаимодействии может существовать тенденция к отставанию скорости движения жидкости в дефекте против скорости транзитного потока.

Составим динамические уравнения движения жидкой частицы в выемке, предположив, что весом частицы можно пренебречь.

Тогда имеем:

$$\begin{aligned} F_x &= T_{1x} + N_x + T_2, \\ F_y &= T_{1y} + N_y \end{aligned} \tag{1}$$

где через F_x и F_y обозначены проекции равнодействующей силы на координатные оси.

Перепишем систему (1), подставляя значения найденных ранее сил и их проекций, а также учитывая, что $F = mw$, где m – масса жидкой частицы, а w – ее ускорение. Тогда получаем:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^n - c_1 y &= \varphi \left(v_0 - \frac{dx}{dt} \right), \\ m \frac{d^2y}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dy}{dt} \right)^n + c_2 x &= 0 \end{aligned} \tag{2}$$

Система (2) представляет собой неоднородную нелинейную систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка.

Экспериментальное уточнение входящих в систему уравнений численных коэффициентов позволяет рассчитать гидродинамические режимы, при которых возможно разрушение материала за счет действующих центробежных сил и сформулировать некоторые предложения по конструкции рабочих органов и технологии их изготовления.

Простейшим рабочим органом для реализации описанных эффектов кавитационного измельчения является статор с соосно расположенным в нем ротором между которыми зазор соизмерим с величиной частиц заданных техническим заданием на измельчение.

Специфической особенностью такого рабочего органа является то, что для обеспечения необходимых гидродинамических режимов в зазоре между статором и ротором на одну или обе поверхности, которыми они обращены друг к другу, нанесен тонкий слой мелкодисперсного абразивного порошка. В зависимости от того, на какую из поверхностей наносится методом гальваностегии абразивный слой, предложены различные топологии и технологии формирования покрытий.



Рис. 6. Рабочий орган кавитационной установки

Так, например, для внутренних поверхностей статора могут быть рекомендованы покрытия с чередующимися полосами абразивного зерна, а для наружной поверхности ротора технологии, предусматривающие специальное магнитное ориентирование зерна или конструкцию из навитой ленты.

В зависимости от геометрических размеров статора и ротора для закрепления абразивного зерна также могут быть рекомендованы различные технологические устройства.

Используем для сравнения разных типов измельчителей коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{A_{\Pi}}{A_{\Pi} + A_{\gamma} + A_{\sigma}}$$

где A_{Π} – работа образования новой поверхности, Дж;

A_{γ} – работа упругой деформации;

A_{σ} – работа пластической деформации.

Этот показатель показывает отношение полезных затрат энергии к общим. Однако практическое применение критерия затруднено, так как правильно оценить величину полезных работ практически невозможно. Для расчета A_{Π} в формуле Ребиндера необходимо знать величину коэффициента пропорциональности K_s , информация о котором также ограничена:

$$A_{\Pi} = K_s \cdot \Delta S$$

где ΔS – прирост площади новой поверхности, м².

Чтобы избежать трудностей теоретического расчета A_{Π} обычно вводят в рассмотрение косвенные параметры энергетической эффективности. Например, при сравнении молотковых дробилок это показатель удельной загрузки ротора $P_{уд}$:

$$P_{уд} = \frac{N}{D \cdot L}$$

где N – потребляемая мощность, кВт;

D – диаметр ротора, м;

L – активная длина ротора, м.

Физически этот показатель соответствует энергонапряженности единицы площади диаметрального сечения дробилки.

Для шаровых мельниц широко применяют показатель удельной производительности $\Pi_{уд}$, являющийся отношением производительности мельницы G_M , т/ч к объему ее корпуса V_A , м³.

$$\Pi_{уд} = \frac{G_M}{V_A}$$

Производительность мельницы или дробилки, выраженная в килограммах в час или тоннах в час, никак не характеризует эффективность их работы. В этом отношении более обоснованно выражать производительность в абсолютном приросте новой поверхности ΔS в м²/ч. Однако измерение прироста поверхности затруднено и поэтому в практических расчетах вряд ли найдет широкое применение. Попробуем выразить прирост поверхности ΔS через характеристики материала и производительность мельницы. Удельная поверхность дисперсного материала S_d выражается по формуле

$$S_d = \frac{S_M}{V_M} = \frac{n\pi d_{\text{э}}^2}{n\pi d_{\text{э}}^3} = \frac{6}{\psi \cdot d_{\text{э}}}$$

где S_M – изменение суммарной площади поверхности частиц материала в единицу времени м²/с;

V_M – объемная производительность мельницы, м³/с;

n – счетное число частиц;

ψ – фактор формы частицы – отношение площади поверхности частицы неправильной формы к площади поверхности эквивалентной по объему сферы диаметром $d_{\text{э}}$;

$d_{\text{э}}$ – средний эквивалентный диаметр частицы материала, м.

Выражая S_M через другие параметры, получим:

$$S_M = \frac{6 G_M}{\psi d_{\text{э}} \rho_M}$$

где ρ_M – истинная плотность материала, кг/м³;

G_M – массовая производительность измельчителя, кг/с;

Тогда прирост площади поверхности в единицу времени определится, как

$$\Delta S = S_{M_2} - S_{M_1} = \frac{6 G_M}{\rho_M} \left(\frac{1}{\psi_2 d_{\text{э}_2}} - \frac{1}{\psi_1 d_{\text{э}_1}} \right)$$

Введем понятие степени измельчения i :

$$i = \frac{d_{\text{э}_1}}{d_{\text{э}_2}}$$

где $d_{\text{э}_1}$, $d_{\text{э}_2}$ – средний начальный и конечный размер частиц измельчаемого материала соответственно.

С учетом этого предыдущая формула примет вид:

$$\Delta S = \frac{6 G_M}{\psi_1 \rho_M d_{\text{э}_1}} \left(\frac{\psi_1}{\psi_2} i - 1 \right) \text{ либо } \Delta S = \frac{6 G_M}{\psi_2 \rho_M d_{\text{э}_2}} \left(\frac{\psi_1}{\psi_2} - \frac{1}{i} \right).$$

Как правило, форма частиц материала до и после измельчения неодинакова, но в тех случаях, когда этим изменением можно пренебречь, полученная формула значительно упростится:

$$\Delta S = \frac{6 G_M}{\psi \rho_M d_{\text{э}_1}} (i-1).$$

В записанную формулу входят наиболее часто применяемые в промышленной практике параметры:

производительностью G_M , степень измельчения i , плотностью материала ρ_M , начальным размером кусков $d_{\Delta 1}$, а фактор формы является табличной величиной, известной для широкого класса материалов.

С учетом вышеприведенных рассуждений под параметром эффективности целесообразно понимать отношение полезно достигаемого технологического результата измельчения (ΔS) к суммарным энергетическим затратам, достигаемым в единице рабочего объема полезного пространства.

$$\Theta = \frac{\Delta S}{V_A \cdot N}$$

Этот показатель имеет размерность 1/м·Дж или с/Нм². То есть, этот параметр показывает прирост новой поверхности в единице объема рабочего пространства на единицу затраченной работы в единицу времени. С учетом предыдущей формулы

$$\Theta = \frac{6 G_M (i-1)}{\rho_M \psi d_{\Delta 1} \cdot V_A \cdot N}$$

Тогда значение критерия качества I может быть представлено в виде

$$I = \frac{6 (i-1)}{\rho_M \psi d_{\Delta 1}}$$

С учетом размерности критерия качества I , формулу для параметра эффективности можно привести к безразмерному виду

$$\Theta = \frac{G^3 \cdot I}{\rho_M V_A \cdot N}$$

Предложенный показатель может быть использован для сравнения любых видов измельчительной техники, применяемой для измельчения одного и того же материала. При сравнении аппаратов для измельчения различных материалов в полученные формулы необходимо ввести параметр, характеризующий прочность материала

$$\Theta = \frac{\Delta S \cdot \Pi_{PS}}{V_A \cdot N}$$

где Π_{PS} – показатель прочности материала, Дж/м².

Величина $N/\Delta S$ также косвенно характеризует прочность измельчаемого материала, т.к. по определению

$$\Pi_{PS} = \frac{A_S}{S_M}$$

где A_S – работа разрушения, Дж.

Полагая, что основную долю в работу разрушения вносит работа упругой деформации, то для всего объема материала V_M ,

$$A_S = \frac{\sigma^2 V_M}{2E}$$

С учетом этой формулы критерий, учитывающий прирост площади поверхности измельченного материала и его прочностные свойства примет вид

$$I = \frac{(i-1) \sigma^2}{\rho_M 2E}$$

где σ – предел прочности материала, Па;
 E – модуль Юнга, Па.

Параметр \mathcal{E} тем выше, чем больший прирост новой поверхности будет достигнут для более прочных материалов при меньших энергетических затратах и минимальном объеме измельчительной камеры.

Зависимость параметра энергетической эффективности \mathcal{E} от объемной производительности различных измельчителей V_m при $\psi = 1$ и насыпной плотности измельчаемого материала $\rho_m = 1800 \text{ кг/м}^3$ представлена на рис. 7.

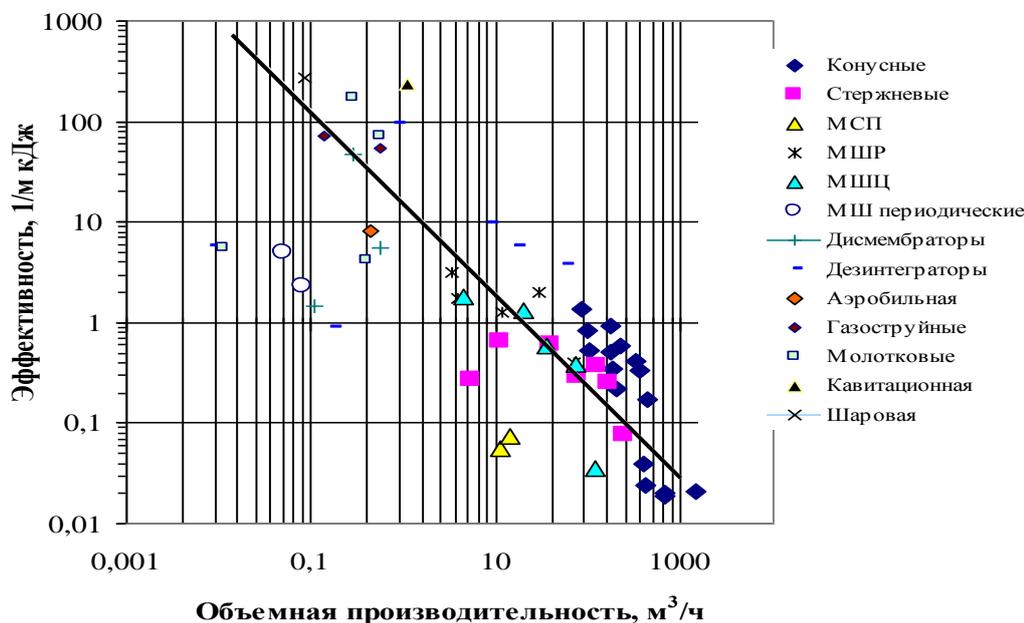


Рис. 7. Сравнение различных дробилок и мельниц по параметру энергетической эффективности

Аппроксимация зависимости параметра энергетической эффективности \mathcal{E} от производительности измельчителей по готовому продукту V_m выполнена с помощью электронных таблиц Excel. Зависимость аппроксимируется степенной функцией вида

$$\mathcal{E} = nV_m^{-1}$$

где n – численный коэффициент (изменяется в пределах от 1200, для верхней границы точек до 1 – нижняя граница).

На рис. 7 представлено сравнение табличных литературных данных и данных, полученных авторами расчетов по последней формуле (сплошная линия), при $n = 15$. Среднее квадратичное отклонение $R^2 = 0.7142$.

В качестве основного вывода следует отметить, что объемная производительность измельчителя по готовому продукту в последней формуле стоит в числителе ($V_m = G_m/\rho$), поэтому логично ожидать прямой пропорциональности \mathcal{E} и V_m , однако влияние остальных параметров, в свою очередь являющихся функцией производительности, приводит к обратно пропорциональной зависимости.

Литература

1. Алексеев Г.В., Дмитриченко М.И., Гончаров М.В. Ресурсосберегающие направления развития абразивной обработки пищевых материалов // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. № 4(26). С. 57-61.
2. Алексеев Г.В., Лагунов Д.В. Особенности контактного взаимодействия поверхностей трения // Техника машиностроения. 2000. № 1. С. 45.
3. Алексеев Г.В., Грекова И.В. Возможный подход к решению тепловой задачи и повышение эффективности использования абразивного оборудования // Машиностроитель. 2000. № 8. С. 32.
4. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Головацкий В.А. Аналитическое исследование процесса импульсного (дискретного) теплового воздействия на перерабатываемое пищевое сырье // Новые технологии. 2012. № 2. С. 11-15.
5. Алексеев Г.В., Мосина Н.А. Абразивная обработка картофеля и овощей с дискретным энергоподводом. Саратов, 2013. 186 с.

6. Алексеев Г.В. Устройства для закрепления зерен абразивного материала на поверхности инструмента // Изобретатели – машиностроению. 1997. № 1. С. 12.
7. Алексеев Г.В., Лагунов В.С. Изготовление абразивных покрытий на неметаллических подложках для обработки продуктов питания // Техника машиностроения. 2002. № 4. С. 28.
8. Алексеев Г.В., Грекова И.В. Абразивные покрытия рабочих органов пищевой промышленности // Изобретатели – машиностроению. 1997. № 1. С. 23.
9. Верболоз Е.И., Кондратов А.В., Кравцова Е.В. Возможные пути совершенствования измельчителя для фруктов и овощей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4.
10. Вологжанина С.А., Иголкин А.Ф., Жучков Д.В. Исследование материалов измельчительных комплексов пищевого оборудования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4.
11. Алексеев Г.В., Кондратов А.В. Перспективы применения кавитационного воздействия для измельчения пищевых продуктов. Саратов, 2013. 184 с.
12. Алексеев Г.В., Иванова А.С. Моделирование процесса натекания неньютоновской жидкости на жесткую преграду // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1. С. 34.
13. Алексеев Г.В., Кондратов А.В. О модели развития кавитационной полости при измельчении пищевого сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 2. С. 38.
14. Алексеев Г.В., Гришанова Е.А., Кондратов А.В., Гончаров М.В. Возможности реализации эффектов кавитации для измельчения пищевого сырья // Вестник Международной академии холода. 2012. № 3. С. 45-47.

References

1. Alekseev G.V., Dmitrichenko M.I., Goncharov M.V. Resursosberegayushchie napravleniya razvitiya abrazivnoi obrabotki pishchevykh materialov. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2013, no. 4(26), pp. 57-61.
2. Alekseev G.V., Lagunov D.V. Osobennosti kontaktnogo vzaimodeistviya poverkhnostei treniya. *Tekhnika mashinostroeniya*. 2000, no. 1, P. 45.
3. Alekseev G.V., Grekova I.V. Vozmozhnyi podkhod k resheniyu teplovoi zadachi i povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya abrazivnogo oborudovaniya. *Mashinostroitel'*. 2000, no. 8, P. 32.
4. Alekseev G.V., Voronenko B.A., Golovatskii V.A. Analiticheskoe issledovanie protsessa impul'snogo (diskretnogo) teplovogo vozdeistviya na pererabatyvaemoe pishchevoe syr'e. *Novye tekhnologii*. 2012, no. 2, pp. 11-15.
5. Alekseev G.V., Mosina N.A. Abrazivnaya obrabotka kartofelya i ovoshchei s diskretnym energopodvodom. *Saratov*, 2013. 186 p.
6. Alekseev G.V. Ustroistva dlya zakrepleniya zeren abrazivnogo materiala na poverkhnosti instrumenta. *Izobretateli – mashinostroeniya*. 1997, no. 1, P. 12.
7. Alekseev G.V., Lagunov V.S. Izgotovlenie abrazivnykh pokrytii na nemetallicheskiikh podlozhkakh dlya obrabotki produktov pitaniya. *Tekhnika mashinostroeniya*. 2002, no. 4, P. 28.
8. Alekseev G.V., Grekova I.V. Abrazivnye pokrytiya rabochikh organov pishchevoi promyshlennosti. *Izobretateli – mashinostroeniya*. 1997. No. 1. P. 23.
9. Verboloz E.I., Kondratov A.V., Kravtsova E.V. Vozmozhnye puti sovershenstvovaniya izmel'chatelya dlya fruktov i ovoshchei. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2013. № 4.
10. Vologzhanina S.A., Igolkin A.F., Zhuchkov D.V. Issledovanie materialov izmel'chitel'nykh kompleksov pishchevogo oborudovaniya. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2013. № 4.
11. Alekseev G.V., Kondratov A.V. Perspektivy primeneniya kavitatsionnogo vozdeistviya dlya izmel'cheniya pishchevykh produktov. *Saratov*, 2013. 184 p.
12. Alekseev G.V., Ivanova A.S. Modelirovanie protsessa natekaniya nen'yutonovskoi zhidkosti na zhestkuyu pregradu. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. № 1. P. 34.
13. Alekseev G.V., Kondratov A.V. O modeli razvitiya kavitatsionnoi polosti pri izmel'chenii pishchevogo syr'ya. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2008. № 2. P. 38.
14. Alekseev G.V., Grishanova E.A., Kondratov A.V., Goncharov M.V. Vozmozhnosti realizatsii effektivov kavitatsii dlya izmel'cheniya pishchevogo syr'ya. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. № 3. pp. 45-47.