

УДК 620:631.365

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ
ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ
ДЛЯ СЫПУЧИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В.Н. ДЕНИСОВ¹, С.Н. КУРИЛИН², А.И. БЕЛЕНКОВ³

(¹ Смоленский НИУ МЭИ (ТУ),² Российский университет кооперации,
³РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Разработки вибрационных механизмов для работы с сыпучими средами (сахар, гранулированные продукты, зерно, крупа) поддерживаются теоретическими исследованиями рабочих органов вибрационных механизмов и пенообразующих свойств круп с целью обеспечения высокого качества продукта, снижения материалоемкости и энергопотребления.

Ключевые слова: пластина — рабочий орган, вибрационный механизм, нелинейные колебания, электропривод, прочность, надежность, крупа, пена, пенообразующая способность, роторно-пульсационный аппарат.

Рабочие органы вибрационных механизмов часто выполняют в виде пластин или тонких оболочек, вибрирующих в сыпучей среде. Вибрации способны изменять физические свойства среды, придавать ей такие свойства, как высокую однородность и текучесть. Таким образом, вибрации позволяют существенно снизить энергопотребление механизма. При этом работа на резонансных частотах приводит еще и к самоочистке рабочих поверхностей, что дополнительно снижает энергопотребление и повышает производительность механизма. Разумеется, при этом должны быть обеспечены прочность и надежность рабочих органов. Ниже приводятся некоторые результаты авторских исследований резонансных (собственных) частот тонких пластин механизмов, работающих в сыпучей среде [3-11].

Расчетная модель одной из пластин вибрационного механизма представлена на рис. 1. Пластина задана в декартовой системе координат x_1Ox_2 . Пластина предполагается тонкой, а ее материал — упругим и изотропным. Считается, что над пластиной находится слой среды толщиной h_c и с плотностью ρ . Пластина может быть жестко или шарнирно закреплена по краям. Она также может быть свободна, в тангенциальном направлении. Нелинейные собственные колебания пластины в сыпучей среде описываются уравнениями Кармана:

$$D\Delta\Delta w - \frac{\partial^2 \chi}{\partial^2 x_1^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial^2 x_2^2} - \frac{\partial^2 \chi}{\partial x_2^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + 2 \frac{\partial^2 \chi}{\partial x_1 \partial x_2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} + (\rho_n h_n + \rho_c h_c) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{1}{Eh} \Delta\Delta \chi = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2}; \quad (2)$$

где $w(x_1, x_2, t)$ — функция прогиба, $\chi(x_1, x_2, t)$ — функция усилий в срединной плоскости, D — цилиндрическая жесткость, h — толщина пластины и среды соответственно, E — модуль упругости пластины, ρ_p, ρ_s — плотность материала пластины и среды, Δ — оператор Лапласа.

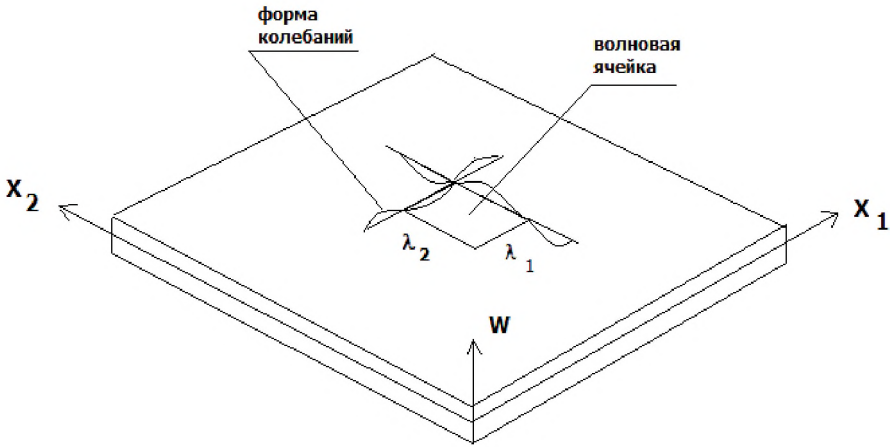


Рис. 1. Расчетная модель пластины

Уравнения (1), (2) дополнялись граничными условиями, соответствующими характеру закрепления кромок пластины. Для функций $w(x_1, x_2, t)$ и $\chi(x_1, x_2, t)$ на каждой кромке задавалось по два граничных условия. Однородные граничные условия для функций прогиба не отличались от граничных условий в линейных задачах и являлись поточечными.

Для решения поставленной задачи применялся асимптотический метод В. В. Болотина [11]. В соответствии с ним, порождающее решение во внутренней области пластины представлялось в следующем виде:

$$w_0(x_1, x_2, t) = f(t) \sin k_1(x_1 - \xi_1) \sin k_2(x_2 - \xi_2), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \chi_0(x_1, x_2, t) = & \frac{Eh}{32} f^2(t) \left[\frac{k_2^2}{k_1^2} \cos 2k_1(x_1 - \xi_1) + \frac{k_1^2}{k_2^2} \cos 2k_2(x_2 - \xi_2) \right] + \\ & + f^2(t) \left[\frac{x_2^2}{2} N_{11}^0 + \frac{x_1^2}{2} N_{22}^0 - x_1 x_2 N_{12}^0 \right]; \end{aligned} \quad (4)$$

где $k_1 = \frac{\pi}{\lambda_1}$, $k_2 = \frac{\pi}{\lambda_2}$ и ξ_1, ξ_2 — неизвестные волновые числа и фазы,

$N_{11}^0, N_{22}^0, N_{12}^0$ — неизвестные постоянные, которые выбирались так, чтобы тангенциальные граничные условия удовлетворялись в среднем, $f(t)$ — неизвестная функция, определяющая амплитуду колебаний.

Решение системы (3) - (4) было получено в эллиптических функциях Якоби. При этом полагалось

$$f(t) = f_0 \operatorname{cn}(pt, k), \quad p = \frac{2}{\pi} K\omega, \quad (5)$$

где f_0 — абсолютная амплитуда колебаний, k — модуль эллиптической функции, $K = K(k)$ — полный эллиптический интеграл первого рода, ω — частота собственных нелинейных колебаний. Соответствующие (5) частоты колебаний ω в зависимости от амплитуды f_0 задаются выражениями:

$$\omega^2 = \frac{D}{(\rho h)^*} \left(\frac{\pi}{2K} \right)^2 \left\{ (k_1^2 + k_2^2)^2 + \frac{3}{4} (1 - \nu^2) \left(\frac{f_0}{h_n} \right)^2 \left[k_1^4 + k_2^4 + \frac{32}{Eh_n} (k_1^2 N_{11}^0 + k_2^2 N_{22}^0) + 4 \left(\frac{8}{Eh_n} \right)^2 (1 + \nu) \left\{ N_{11}^0 N_{22}^0 - N_{12}^{0^2} \right\} - 2 \left(\frac{8}{Eh_n} \right)^2 (N_{11}^0 + N_{22}^0)^2 \right] \right\}, \quad (6)$$

$$k^2 = \frac{3}{8} \cdot \frac{(1 - \nu^2) D}{p^2 (\rho h)^*} \left[k_1^4 + k_2^4 + \frac{32}{Eh_n} (k_1^2 N_{11}^0 + k_2^2 N_{22}^0) + 4 \left(\frac{8}{Eh_n} \right)^2 (1 + \nu) \left\{ N_{11}^0 N_{22}^0 - N_{12}^{0^2} \right\} - 2 \left(\frac{8}{Eh_n} \right)^2 (N_{11}^0 + N_{22}^0)^2 \right] \left(\frac{f_0}{h_n} \right)^2, \quad (7)$$

где ν — коэффициент Пуассона, $(\rho h)^* = \rho_n h_n \left(1 + \frac{\rho_c h_c}{\rho_n h_n} \right)$ — суммарная удельная масса пластины и среды. Волновые числа k_1, k_2 находились при помощи уравнений стыковки. Решения (6) и (7) имеют смысл асимптотических для случая нелинейных колебаний пластин. При устремлении

$$\frac{\rho_c h_c}{\rho_n h_n} \rightarrow 0 \quad \text{и} \quad \frac{f_0}{h_n} \rightarrow 0$$

модуль эллиптической функции $k \rightarrow 0$, эллиптический интеграл $K(k) \rightarrow \frac{\pi}{2}$ и формула (6) переходят в формулу для собственных частот малых колебаний.

На рис. 2 приведены рассчитанные по (6), (7) амплитудно-частотные характеристики пластины рабочего органа вибрационного механизма $f(\omega)$ для различных значений коэффициента удельной массы.

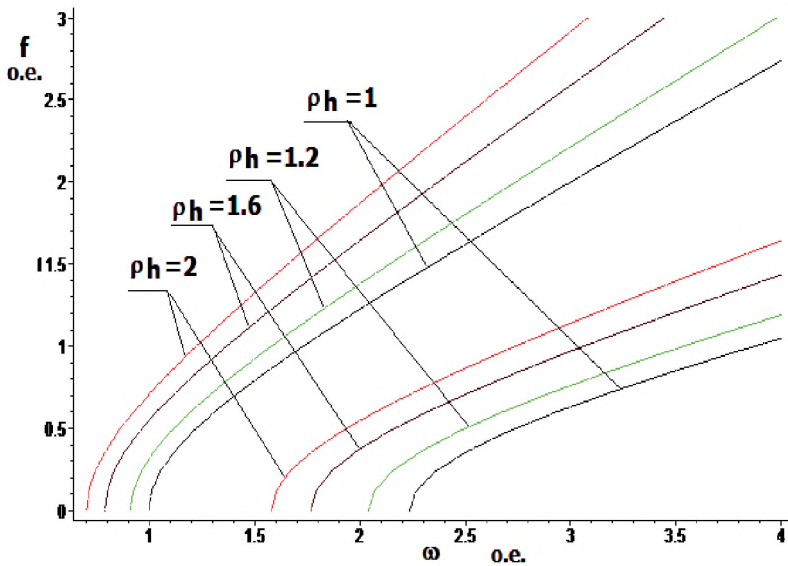


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики пластин

Амплитуды колебаний на рис. 2 даны в долях от толщины пластины h_m , а частоты — в долях от частоты наиболее низкого тона, т. е. частоты, отвечающей одной полуволне прогиба на площади пластины $k_1 = \frac{\pi}{a_1}$, $k_2 = \frac{\pi}{a_2}$. На рис. 2 представлено два семейства характеристик, соответствующих частотам низкого тона 1 и 2,2 относительных единицы при значении коэффициента удельной массы $\rho h = 1$.

Кривые рис. 2 свидетельствуют о том, что резонансные частоты и амплитуды колебания с ростом удельной массы снижаются. Отметим, что повышение удельной массы ρh можно трактовать как повышение нагрузки механизма и его электропривода. Изменение амплитуды и частоты колебаний рабочих органов, произошедшее под воздействием электропривода (в т.ч. и по случайным причинам), приводит, как отмечалось, к изменению физических свойств сыпучей среды, т.е. — к изменению значения ρh . В связи с этим рабочая точка механизма ($\omega_{\text{раб}}$, $f_{\text{раб}}$) может дрейфовать в сторону от резонансных значений. Соответствующие дрейфы должны быть скорректированы системой управления электроприводом вибрационного механизма. Она же исключит работу с такими амплитудами и частотами колебаний, которые представляют угрозу его прочности и надежности [15].

Приводимый здесь механизм предназначается для работы с сыпучими материалами, в т.ч. с крупами, занимающими значительное место в питании человека. Физиологические нормы, разработанные в нашей стране, предусматривают введение в рацион различных круп, в среднем на одного человека 14-15 кг в год, примерно 40-42 г в день [13]. Крупы характеризуются высокой питательной ценностью

и усвояемостью, определенными потребительскими достоинствами. Они используются для приготовления супов, каш и других кулинарных изделий, а также широко применяются в общественном и диетическом питании [1].

Для выработки крупы используется зерно различных культур. Крупа представляет собой цельное, дробленое или расплющенное ядро зерна хлебных злаков, плодов гречихи или семян бобовых культур, освобожденное от не усваиваемых человеком частей зерна.

В процессе обработки зерна удаляется зародыш, присутствие которого в крупах снижает их качество при хранении. Кроме механической обработки сырья для получения круп широко применяют гидротермическую обработку, что позволяет повысить питательные качества круп и уменьшить время их приготовления [2].

В последние годы на крупяном рынке отмечается рост в стоимостном и натуральном выражении, также увеличивается и объем рынка. Так, производство круп в 2009 г. составило 1136,2 тыс. т, в 2010 г. — 1258 тыс. т, при этом прирост 110,7%, что свидетельствует о повышении спроса на данную продукцию [13].

Крупа — готовый продукт, который подвергают только кулинарной обработке, поэтому присутствие в ней каких-либо примесей отражается непосредственно на качестве пищи. Не меньшее влияние на пищевую ценность и внешний вид крупы оказывает и организация технологического процесса.

В связи с этим придается большое значение маркетинговым исследованиям по изучению потребностей населения в различных видах продукции, в т.ч. различных круп и продуктов их переработки с целью продвижения на рынке и удовлетворения спроса покупателей [14].

Удовлетворение возрастающей потребности населения в продуктах со взбивной структурой целесообразно, если в их производство вовлечены дешевые, доступные по сырьевой базе пенообразователи, характеризующиеся высокими пищевыми достоинствами и эффективные с точки зрения влияния на качество продукта. Используемые в настоящее время пенообразователи не всегда удовлетворяют этим требованиям: некоторые из них производятся в ограниченном количестве, другие дороги и обладают низкими пищевыми достоинствами, многие импортного производства.

Использование круп в качестве пенообразователей и стабилизаторов сдерживается недостатком данных о технологических свойствах и их соответствии условиям производства взбивных пищевых масс. Это обуславливает необходимость исследования функциональных свойств круп, прежде всего пенообразующих.

В данной работе также рассматриваются пенообразующие свойства круп и бобовых с целью разработки рецептур и технологий производства продуктов с пенной структурой.

Пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из ячеек — пузырьков газа (пара), разделенных пленками жидкости. Обычно газ (пар) рассматривается как дисперсная фаза, а жидкость — как непрерывная дисперсионная среда. Ячейки пены принимают сферическую форму в том случае, если объем газовой фазы превышает объем жидкости не более чем в 10-20 раз. В таких пенах пленки пузырьков имеют относительно большую толщину, — чем меньше отношение объемов газовой и жидкой фаз, тем больше толщина пленки. В процессе старения шарообразная форма пузырьков пены превращается в многогранную вследствие утончения пленок. Состояние пены с многогранными ячейками близко к равновесному, поэтому такие пены обладают большей устойчивостью, чем пены с шарообразными ячейками [9, 10].

Свойства пен во многом определяются условиями их получения, факторами, влияющими на их свойства и разрушение. Выделяют следующие основные свойства, характеризующие пенную систему: пенообразующую способность раствора, кратность, стабильность (устойчивость), дисперсность.

Пенообразующая способность растворов (ПАВ) зависит от типа и ее состава, концентрации, наличия стабилизирующих добавок, а в воде — примесей различных солей, нефти, взвешенных минеральных частиц, температуры раствора, давления [12, 13].

Для оценки пенообразующих растворов и приготовленных из них пен используются разнообразными критериями: объемом или высотой столба пены, полученными в определенных условиях проведения эксперимента; отношением объема или высоты столба пены к времени ее полного разрушения; изменением объема (высоты столба) пены во времени, представленным в виде графиков и т. д. До настоящего времени нет и, по-видимому, не может быть единого универсального критерия пенообразования, который бы объективно оценивал все пенящиеся системы в сходных условиях.

Наиболее высокой пенообразующей способностью обладают растворы анион-активных веществ. При этом вещества, наиболее сильно понижающие поверхностное натяжение, как правило, обладают наивысшей пенообразующей способностью. Пенообразующая способность растворов ПАВ возрастает с увеличением концентрации раствора до критической. С увеличением концентрации выше критической (начало мицеллообразования) пенообразующая способность остается неизменной или понижается. Наличие стабилизирующих добавок в составе раствора ПАВ значительно улучшает пенообразующую способность за счет повышения дисперсности и устойчивости пены [13, 14].

Наличие примесей солей, особенно двухвалентных катионов, в воде, на которой приготовлен раствор ПАВ, значительно снижает пенообразующую способность растворов анионактивных и катионактивных ПАВ. Добиться эффекта пенообразователя раствора ионогенных ПАВ на минерализованной воде можно путем введения очень больших концентраций ПАВ, используя явления солюбилизации, либо путем нейтрализации действия солей Ca^{2+} и Mg^{2+} добавками Na_2CO_3 и триполифосфата натрия.

Повышение температуры среды до $40\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к повышению пенообразующей способности; при температуре $100\text{ }^\circ\text{C}$ неионогенные ПАВ теряют способность к пенообразованию и восстанавливают ее по мере снижения температуры.

Пенообразующая способность, как и кратность пены, зависит от конструкции аэрирующего устройства и режима получения пены (соотношения воздуха и пенообразующего раствора) [16].

Особенно важно при формировании структуры иметь сведения о вязкости и механической прочности пены. На вязкость пены влияет ряд факторов: вид вспенивающего агента, его концентрация в растворе, дисперсность пены. С увеличением градиента скорости вязкость пены значительно уменьшается. При одной и той же скорости вязкость пены определяется объемным соотношением воды и воздуха, повышаясь с увеличением содержания последнего. В связи с этим увеличение давления на пену снижает ее вязкость. Например, при увеличении давления на пену от $0,125$ до $0,63$ МПа вязкость пены уменьшается от $1,09 \cdot 10^{-2}$ до $1,9 \cdot 10^{-3}$ Па·с. При этом значения вязкости пены под давлением и содержащей меньшее количество воздуха эквивалентны.

Отмечено также снижение вязкости пены при повышении температуры, добавлении к пенообразующему раствору NaCl, спиртов и других веществ. В процессе старения пены вязкость их сначала увеличивается, а затем в зависимости от типа ПАВ может остаться постоянной или уменьшиться.

Механическая прочность пены увеличивается при добавлении метилцеллюлозы и пропиленгликоля.

Из изложенного следует, что разработка новых видов аэрированных продуктов актуальна. При этом выявлены несколько проблем, решение которых позволит эффективно реализовать данное направление в отечественной промышленности.

Первая проблема связана с тем, что до настоящего времени существовал дефицит натуральных пенообразователей. Традиционно для этих целей использовали яичный белок, восстановленные (из сухих порошков) яйцапродукты или сливки. Из модифицированных и синтетических пенообразователей применяли изоляты и концентраты молочных белков, сапонины, жирные кислоты, фосфолипиды и т.д. По разным причинам они ограниченно используются в функциональном питании. Проведенными исследованиями эту проблему частично удалось решить, предложив в качестве пенообразователей молоко, в т.ч. обезжиренное, пахту, молочную сыворотку, ферментированные молочные системы.

Вторая проблема — насыщение молочной жидкости газом и одновременно микроорганизмами, содержащимися в воздухе. Особая опасность в этом отношении связана с большим аэрированием системы, что ухудшает хранимоспособность продукта в силу интенсивного развития микрофлоры.

Третья заключается в том, что особые трудности представляет фасовка пенных продуктов, поскольку пузырьки газа разрушаются при перекачивании насосами, а использование стабилизаторов структуры в достаточно высоких концентрациях затрудняет или вообще не позволяет автоматизировать этот процесс (полуавтоматический способ фасовки неэффективен в силу ухудшения микробиологических характеристик).

Четвертая связана с тем, что применяемые в молочной промышленности пеногенерирующие аппараты имеют ряд серьезных недостатков и зачастую не удовлетворяют современным требованиям по производительности, затратам энергии на единицу продукции и поточности.

Имеющаяся конструкция аппарата, в которой процесс насыщения среды газом интенсифицирован за счет организации интенсивного перемешивания, обеспечивает значительный рост поверхности раздела фаз. Кроме того, применение звуковых колебаний (20-2000 Гц) в роторно-пульсационных аппаратах (РПА) способствует повышению скоростей физико-химических процессов в гетерогенных дисперсных системах [15], снижению общего числа микроорганизмов за счет образования кавитации, позволяет перейти на поточный способ производства и фасовки, а также в меньшей степени зависит от состава и свойств исходного сырья, как, например, при использовании традиционных взбивальных аппаратов периодического действия.

Для наглядной иллюстрации эффективного использования РПА в технологии аэрированных продуктов рассмотрим влияние нескольких факторов на пенообразующие свойства восстановленного обезжиренного молока. В качестве условий получения пены приняты следующие параметры: число оборотов ротора — от 1000-5000/мин; продолжительность нахождения продукта в рабочей камере объемом 0,018 м³ — 3 мин; коэффициент заполнения — 0,3; массовая доля белка — от 2,8 до 6,0%; зазор между ротором и статором — 0,1 мм; температура 12... 15 °С [1].

В наших исследованиях под пенообразующей способностью понимали плот-

ность пены, под устойчивостью — продолжительность существования пены до полного ее разрушения.

Сравнительный анализ пенообразующих свойств круп показал преимущество их по сравнению с другими ПАВ. По мере уменьшения пенообразующих свойств исследуемые крупы расположились в следующем порядке: овсяная, перловая, рисовая и манная. Пенообразующая способность овсяной системы (289,2%) в 1,46 раза выше данного показателя для манной системы (197,4%).

Исследование пенообразующих свойств круп от степени помола позволило установить их зависимость от химического состава и размера частиц:

- установлена прямая зависимость пенообразующей способности крупяных систем от содержания в них белков (в т.ч. растворимой альбуминовой фракции) и устойчивости пены от содержания углеводов (пектиновых веществ, крахмала и клетчатки);

- наблюдается равномерное распределение токсичных элементов в различных фракциях муки разового помола круп и преобладание радионуклидов во фракциях с наибольшим размером частиц, что связано с анатомическим строением зерна.

С целью улучшения пенообразования, сокращения сроков приготовления крупяных систем и микробиологической стабильности готовых сбивных масс предложен способ обработки, заключающийся в сухом тепловом нагреве муки с размером частиц 0,21 мкм в течение 5 мин при 105 °С для рисовой и 122 °С для перловой, овсяной и манной.

Обоснованы оптимальные значения технологических факторов, которые легли в основу технологии и рецептур пенообразных продуктов: гидромодуль систем должен быть 1:18 для рисовой и 1:17 для манной, овсяной и перловой; температура взбивания должна быть 33 ± 3 °С для рисовой системы и 44 ± 3 °С для манной, овсяной и перловой; продолжительность взбивания для рисовой системы должна быть 4 ± 2 мин и $6,4 \pm 2$ мин — для манной, перловой и овсяной; оптимальное количество сахара должно составлять 6,6-12% для рисовой системы и 7,5-12,5% для манной, перловой и овсяной систем. Сахар целесообразно вводить в конце взбивания. Активная кислотность крупяных систем должна находиться в пределах от 3,5 до 5,5 для рисовой и от 5,5 до 6,5 для манной, перловой и овсяной круп. Оптимальное соотношение компонентов в водно-крупяной композиции составляет 58% жидкой основы и 42% крупяного наполнителя.

Библиографический список

1. *Артемова Е.Н.* Нетрадиционное использование муки круп и бобовых // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. №3. С. 73-74.
2. *Борисенко А.А.* Теоретические основы аналитического определения параметров регулирования активной кислотности белоксодержащих систем // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 5. С. 13-15.
3. *Денисов В.Н., Курилки С.П.* Роторный смеситель с электромеханическим вибровозбудителем. Патент РФ № 93696. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. № 13. 2 с.
4. *Денисов В.Н., Курилин С.П., Летов Л.А.* Роторный смеситель с электромеханическим вибровозбудителем. Патент РФ № 94165. Оpubл. 20.05. 2010. Бюл. № 14. 3 с.
5. *Денисов В.Н., Курилин С.П., Летов Л.А., Новиков В.М., Никитенков П.А.* Роторный смеситель с механическим вибровозбудителем. Патент РФ № 2398625. Оpubл. 10.09.2010. Бюл. № 25. 2 с.
6. *Денисов В.Н., Курилин С.П., Фицулин Д.Ю.* Многосекционная вибрационная сушилка для сыпучих материалов. Патент РФ № 105011. Оpubл. 27.05.2011. Бюл. № 8. 3 с.

7. Денисов В.Н., Курилин С.П., Новиков В.М., Никитенков П.А., Фицулин Д.Ю. Многосекционная вибрационная сушилка для сыпучих материалов. Патент РФ № 111620. Оpubл. 20.12.2011. Бюл. №35. 2 с.

8. Денисов В.Н., Курилин С.П., Литвин В.П., Фицулин Д.Ю. Вибрационная сушилка для сыпучих материалов со встроенной электромеханической системой. Патент РФ № 112370. Оpubл. 10.01.2012. Бюл. № 1. 3 с.

9. Денисов В.Н., Курилин С.П., Литвин В.П., Фицулин Д.Ю. Вибрационная сушилка для сыпучих материалов со встроенной электромеханической системой. Патент РФ № 112371. Оpubл. 10.01.2012. Бюл. № 1. 3 с.

10. Денисов В.Н., Курилин С.П., Литвин В.П., Фицулин Д.Ю. Вибрационная сушилка с конвейером для сыпучих материалов. Патент РФ № 112372. Оpubл. 10.01.2012. Бюл. № 1. 3 с.

11. Денисов В.Н. О собственных колебаниях пластин в сыпучей среде // Энергетика, информатика, инновации — 2011 -ЭИИ-2011: сб. тр. междунар. научно-техн. конференции. В 2-х т. Т. 2. Смоленск: РИО филиала ГОУВПО МЭИ(ТУ) в г. Смоленске, 2011. С. 49—51.

12. Кислухина О. Биохимические основы переработки растительного сырья. Каунас: Технология, 1997. 183 с.

13. Колончин КВ. Продовольственная безопасность России // Пищевая промышленность. 2010. № 12. С. 24-27.

14. Казаков ЕД. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Агропромиздат, 1989. 368 с.

15. Мамедов Ф.А., Денисов В.Н., Курилин С.П. Вибрационная сушилка для сыпучих материалов. Патент РФ № 2377489. Оpubл. 27.12.2009. Бюл. № 36. 3 с.

16. Просеков А.Л. Влияние различных технологических факторов на качество пенообразных пищевых масс (обзор) // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 10. С. 15-17.

THEORETICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT OF VIBRATORY MECHANISM FOR FREE-FLOWING FOOD PRODUCTS

V.N. DENISOV¹, S.N. KURILIN², A.I. BELENKOV³

(¹ Smolensky SRU MEI (TU),² Russian University of Cooperation,
³ RSAU-Timiryazev MAA)

The development of vibrating mechanisms for utilization in granular mediums (sugar, granulated products, grain and groats) is supported by theoretical researches on working bodies of vibrating mechanisms and groats foaming properties in order to ensure the high quality of a product as well as to diminish material and energy consumption.

Key words: plate — a working body, vibrating mechanism, nonlinear oscillations, electric drive, strength, reliability, groats, foam, foaming properties, rotor-pulsation device.

Денисов Валерий Николаевич — к. т. н., доцент, заведующий кафедрой высшей математики Смоленского филиала ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ (ТУ)» (214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1; тел.: 8 (903) 686-92-11; e-mail: mazirov@timacad.ru).

Курилин Сергей Павлович — д. т. н., профессор кафедры инженерно-технологических дисциплин и сервиса Российского университета кооперации (141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, 12а; тел.: 8 (910) 712-88-36; e-mail: mazirov@timacad.ru).

Беленков Алексей Иванович — д. с.-х. н., профессор кафедры земледелия и МОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-08-51; e-mail: mazirov@timacad.ru).