

Автор ефр.  
ПЗО

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ПЕТРОВ

Валерий Николаевич

УДК 62-189.2 : 621.798.36

ОБЪЕМНОЕ ПОРЦИОННОЕ ДОЗИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ ПИЩЕВЫХ  
ПРОДУКТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты  
пищевых производств

Перечет 1987

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1982

СВ

Работа выполнена в Одесском технологическом институте  
пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова

- НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - кандидат технических наук,  
доцент ДУДАРЕВ И. Р.
- НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ - кандидат технических наук,  
доцент ПЕТЬКО В. Ф.
- ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОПИОНЕНТЫ - доктор технических наук,  
профессор ПЛАТОНОВ П. Н.  
- кандидат технических наук,  
доцент СТОРИЖКО И. И.
- ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ - Воронежское эксперименталь-  
ное конструкторское бюро  
расфасовочно-упаковочного  
оборудования

Защита диссертации состоится "15" октября 1982 г.  
в 10<sup>30</sup> час. на заседании специализированного совета Д 068.35.01  
при Одесском технологическом институте пищевой промышленности  
имени М. В. Ломоносова по адресу: 270039, Одесса-39, ул. Сверд-

ся в библиотеке Одесского  
пищевой промышленности им. М. В. Ломо-

Я 1982 г.

12

ИОР А М

ОНАХТ 26.06.12  
Объемное порционное



v013905



исследование процесса уплотнения сыпучего материала при его дозировании;

сравнительные исследования дозаторов с гравитационным и центробежным действием на сыпучий продукт;

определение параметров объёмного порционного дозирования сыпучих пищевых продуктов в мерных ёмкостях под действием центробежных сил и выработка рекомендаций по их применению при проектировании высокопроизводительных дозаторов к фасовочно-упаковочному оборудованию.

Научная новизна. На основании математической модели сыпучего материала с применением нелинейной теории упругости описаны уравнения динамики уплотнения элементарного слоя материала в мерной ёмкости и решена краевая задача. Получены и проанализированы теоретические зависимости локального и усреднённого значений коэффициента плотности укладки частиц, от физических характеристик материала, кинематических и конструктивных параметров дозатора, которые положены в основу расчетов дозаторов с центробежным действием на сыпучий материал.

Предложен показатель для характеристики расхода сыпучего материала через отверстия в поле центробежных и гравитационных сил.

Проведены исследования операции дозирования сыпучих материалов в мерных ёмкостях под действием центробежных сил и подтверждена приемлемая для практики сходимость теоретических зависимостей с результатами экспериментальных исследований.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований предложены схемы дозирования и конструкции дозаторов с центробежным действием на сыпучий материал, что позволяет увеличить производительность и точность дозирования. Получены теоретические и экспериментальные зависимости и на их основе

предложены инженерные методики расчета основных параметров дозаторов. Получены основные технологические, кинематические и конструктивные параметры для разработки высокопроизводительных дозаторов сыпучих пищевых продуктов. Разработаны новые конструкции приборов для определения физических характеристик сыпучих материалов.

Реализация результатов работы. Промышленный образец дозатора с центробежным действием на сыпучий материал испытан на Одесской чаеразвесочной фабрике и выявлена его высокая эффективность при фасовке небольшими дозами. Экономический эффект от внедрения одного фасовочно-упаковочного автомата, оснащенного разработанным дозатором, составляет 18,8 тыс.руб. в год.

Апробация работы. Результаты исследований доложены и одобрены на:

научных конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИШ им.М.В.Ломоносова /1977-1980 гг/, Всесоюзной конференции "Научно-технический прогресс в зерноперерабатывающей промышленности" /Одесса, 1977 г./, 2-й Всесоюзной конференции "Основные задачи теории конструирования и исследования упаковочных автоматов" /Каунас, 1975 г./, 4-й Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов" /Одесса, 1980 г./.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 23 работы, в том числе 14 авторских свидетельств.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 168 стр. машинописного текста и включает 48 рисунков и 3 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен анализ работы дозаторов к фасовочно-упаковочным автоматам. Определены зависимости производительности  $\Pi_T$  и пропускной способности  $Q_{п.с}$  от массы  $m$  дозируемого материала для дозаторов с объёмным и весовым способами дозирования. Показано, что для улучшения технико-экономических показателей объёмных дозаторов необходимо увеличить их пропускную способность. Проанализированы требования к точности дозирования сыпучих пищевых продуктов и определены области применения дозаторов с различными способами дозирования. В результате анализа принципов действия порционных дозаторов к фасовочно-упаковочным автоматам предложена классификация по способу дозирования, методу формирования дозы, по силовому действию на сыпучий материал при дозировании и по конструктивному исполнению дозирующих рабочих органов.

Время технологического цикла дозаторов с формированием дозы в мерной ёмкости обуславливается в основном временем стабилизации плотности укладки частиц, заполнения и разгрузки мерных ёмкостей, проанализированы работы по исследованию этих операций.

Из обзора исследований стабилизации плотности укладки частиц в мерной ёмкости / вибрирование, сжатие, псевдооживление, вакуумирование / следует, что для достижения постоянства плотности укладки частиц и повышения точности дозирования следует производить уплотнение сыпучих материалов.

Рассмотрены работы по исследованию истечения сыпучих материалов через отверстия и предложен обобщенный показатель, характеризующий расход объёма вещества частиц, прошедших через единицу площади в единицу времени. Для выявления факторов, существенно влияющих на истечение сыпучих материалов,

произведена обработка экспериментальных данных, имеющих в литературе, и данных, полученных автором, в результате чего установлена зависимость этого показателя от диаметра отверстия истечения  $D$ , эквивалентного диаметра частиц  $d_3$ , их отношения, плотности вещества частиц  $\rho_2$  и коэффициента внутреннего трения  $f_{\text{вн}}$

$$Q = -0,438 + 0,042 \ln D + 0,027 \ln \frac{D}{d_3} - 0,01 d_3 + 0,053 \ln \rho_2 - 0,026 f_{\text{вн}}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с.} / \text{ I } /$$

Проверка показала, что эмпирическая зависимость адекватно описывает процесс гравитационного истечения сыпучих материалов с различными физическими характеристиками.

На основании выводов из обзоров работ по исследованию стабилизации плотности укладки частиц и истечению, анализа патентных материалов предложено уплотнение сыпучих материалов для стабилизации дозы в мерной ёмкости осуществлять под действием центробежных сил, позволяющих интенсифицировать этот процесс и сократить время загрузки и разгрузки мерных ёмкостей. Это создает предпосылки для увеличения производительности и точности дозаторов с мерными ёмкостями. Однако отсутствие опубликованных данных об изменении объёмной массы и скорости истечения частиц сыпучего материала в поле центробежных сил не позволяет использовать этот метод стабилизации объёмной массы сыпучего материала в практике конструирования дозаторов с мерными ёмкостями и обоснованно прогнозировать их производительность и погрешность дозирования.

В связи с этим сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе предложена рабочая гипотеза, выбрана математическая модель сыпучего материала в виде упруго-вязкой

сплошной двухфазной среды, упругие свойства которой определяются характеристиками скелета, а вязкие - условиями движения воздуха в порах сыпучего материала. Для математического описания уплотнения сыпучего материала в мерной емкости составлена система уравнений, включающая уравнения движения элементарного слоя сыпучего материала в мерной емкости, уравнение неразрывности, уравнение объемной деформации, уравнения связи напряжений с деформациями.

Решена частная краевая задача для случая, когда перемещение  $U_y$  сыпучего материала по оси ординат незначительно по сравнению с перемещением  $U_x$  по оси абсцисс. Получено выражение для нахождения локальных значений коэффициента плотности укладки частиц в мерной емкости:

$$K = K_w \left\{ 1 - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{16(-1)^{m+1}}{m_1 \pi \sqrt{\rho_3 - \nu_1^2}} \left[ \frac{\omega^2 z_0 - g(-1)^{m+1}}{n_1 \pi} + \frac{2\omega^2(\lambda + 2G)}{\sqrt{A}} \left[ \frac{(-1)^{n+1}}{n_1 \pi} - \frac{2\delta_h}{n_1^2 \pi^2} \right] \right] \right\} \times$$

$$\times \left[ \frac{n_1 \pi}{2h} \sin \frac{n_1 \pi}{2h} x \cos C(x, y) + \left( \cos \frac{n_1 \pi}{2h} x \right) \cdot \left( \frac{m_1 \pi (\lambda + G)}{4\delta_y (\lambda + G)} \right) \cdot \sin \frac{m_1 \pi}{2\delta_y} \left( y + \frac{\lambda + G}{2(\lambda + 2G)} x \right) \right] \times$$

$$\times \int_0^t e^{-\nu_1(t-\tau)} \sin \sqrt{\rho_3 - \nu_1^2} (t-\tau) d\tau \quad / 2 /$$

где  $\rho_3 = \frac{B}{\rho_2 K_w} \frac{n_1^2 \pi^2}{4\delta^2} + \frac{m_1^2 \pi^2}{4\delta_y^2}$ ;  $\delta = 2(b_y + \frac{\lambda + G}{\sqrt{A}} \delta_h)$ ;  $A = 4(\lambda + 2G)G - (\lambda - G)^2$ ;

$$B = \frac{A}{4(\lambda + 2G)}; \quad \nu_1 = \frac{\nu(\kappa)}{2(1 - \kappa_w) \rho_2 K_w}; \quad \nu(\kappa) = C \frac{18 \mu_b \kappa_w^2}{(1 - \kappa_w)^3 d_p^2}; \quad n_1 = 2n - 1;$$

$$n = 1, 2, 3, \dots; \quad m_1 = 2m - 1; \quad m = 1, 2, 3, \dots; \quad \delta_h = \frac{\sqrt{A}}{2(\lambda + 2G)} h; \quad C(x, y) = \frac{m_1 \pi}{2\delta_y} \left( y + \frac{\lambda + G}{2(\lambda + 2G)} x \right);$$

$\omega$  - угловая скорость вращения мерной емкости ;  $z_0$  - начальный радиус загрузки сыпучего материала ;  $\rho_2$  - плотность вещества частиц ;  $K_u$  - коэффициент плотности укладки частиц при свободной засыпке ;  $g$  - ускорение свободного падения ;  $t$  - время действия центробежных сил на сыпучий материал ;  $X$  и  $y$  - координаты ;  $\lambda$  и  $G$  - коэффициенты Ляме ;  $\mu_b$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха ;  $d_2$  - эквивалентный диаметр частиц ;  $C$  - коэффициент, учитывающий удлинение пути воздуха ;  $h$  и  $b_y$  - размеры слоя сыпучего материала.

После интегрирования уравнения /2/ и деления на величину размеров емкости получено выражение для усредненного по объему мерной емкости коэффициента плотности укладки частиц  $\bar{K}$ . В результате анализа полученных зависимостей установлены факторы, степень и характер их влияния на величину коэффициентов  $K$  и  $\bar{K}$ . Установлено, что процесс уплотнения сопровождается затухающими колебаниями локальных и усредненных значений коэффициента плотности укладки частиц, параметры которых, в том числе длительность колебательного процесса, определяются физическими характеристиками сыпучего материала и размерами мерной емкости.

В третьей главе обоснован выбор в качестве объекта исследования сыпучих пищевых продуктов с различными физическими характеристиками: сахара-песка, сахарной пудры, чая, какао-порошка и горчичного порошка.

Описаны разработанные приборы и экспериментальные установки, приведена методика планирования и выполнения экспериментальных исследований и их математико-статистической обработки.

Определение физических характеристик сыпучих продуктов: гранулометрического состава, влажности, плотности укладки час-

тиц при свободной засыпке проводили по стандартным или общепринятым методикам. С целью исследования физических характеристик сыпучих продуктов при условиях дозирования в поле центробежных сил и получения более достоверных экспериментальных данных, разработаны приборы для определения усилий сдвига /а.с. № 748175/, расхода при истечении через отверстия /а.с. № 800823 и № 918819/ и характеристик при всестороннем сжатии /а.с. № 947689/. Разработаны или скорректированы методы проведения опытов на этих приборах.

Для исследования операции дозирования разработаны: экспериментальный дозатор с формированием дозы под действием центробежных сил /а.с. № 603605/, дозатор с гравитационным формированием дозы, экспериментальная установка для исследования операции дозирования сыпучих материалов под действием центробежных сил /а.с. № 761317/.

Планирование экспериментов при исследовании операции дозирования сыпучих продуктов в поле центробежных сил осуществляли по схеме гиперлатинского квадрата. Программы расчетов уравнений поверхностей отклика позволили находить их методом сумм с представлением однофакторных зависимостей в виде полиномов  $n$ -ой степени. В качестве показателя случайной погрешности дозирования избран утроенный коэффициент вариации масс доз  $3V_{\sigma}$ .

В четвертой главе изложены результаты экспериментальных исследований. Для выбранных сыпучих пищевых продуктов определяли: влажность, гранулометрический состав, модуль упругости  $E$ , коэффициенты трения, Пуассона  $\mu$ , бокового давления  $\xi$  и плотности укладки частиц при свободной засыпке  $K_L$ .

В результате исследований физических свойств сыпучих продуктов получены зависимости модуля упругости  $E$ , коэффициен-

тов Пуассона  $\mu$  и бокового распора  $\xi$  от главного напряжения  $\sigma_x$ , деформации  $\epsilon_x$  и коэффициента плотности укладки частиц  $K$ . Установлено, что подопытные сыпучие продукты при малых давлениях представляют собой нелинейно-упругие материалы, при этом с увеличением размеров частиц изменение модуля упругости в зависимости от напряжений уменьшается. Установлено также, что коэффициенты  $\xi$  и  $\mu$  не зависят от величины нормальных напряжений и связаны между собой выражением

$$\xi = 2\mu.$$

Экспериментально доказано, что время, необходимое на загрузку и разгрузку мерной емкости, с достаточной для практики точностью определяется формулой удельного расхода объема частиц сыпучего материала через отверстия в поле центробежных сил:

$$Q = K \sqrt{\frac{Qz}{2 \operatorname{tg} \alpha_u}}, \quad \text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}, \quad / 3 /$$

где  $Q$  - ускорение, действующее на частицы сыпучего материала;  $z$  - радиус отверстия истечения;  $\alpha_u$  - угол истечения сыпучего материала /угол между образующей поверхности истечения и осью потока/.

Для выявления эффективности стабилизации массы дозы под действием центробежных сил и возможности сокращения времени на выполнение операции дозирования проведены сравнительные исследования на экспериментальном дозаторе со стабилизацией плотности укладки частиц центробежными силами и дозаторе без стабилизации, с гравитационным заполнением и разгрузкой мерных емкостей с теми же конструктивными параметрами.

Получены зависимости массы дозы  $m$  сахара-песка и чая, а также погрешности дозирования  $3V_{\text{ог}}$  от производительности  $\Pi_T$  и объема мерных емкостей  $V_e$ , определяемые по формулам:

$$m = m_u / [1 - \exp(a_0 + a_1 V_e + a_2 \Pi_T + a_3 V_e^2 + a_4 \Pi_T^2)], \quad / 4 /$$

$$3V_{az} = b_0 + b_1 V_e + b_2 \Pi_T + b_3 V_e \Pi_T, \quad / 5 /$$

где  $m_u$  - масса дозы сыпучего продукта при свободной засыпке;  
 $a_i$  и  $b_i$  - эмпирические коэффициенты.

Сравнительные исследования /рис.1/ установили - производительность дозатора с центробежной загрузкой и разгрузкой мерных ёмкостей /кривые 7-12/ в 6-7 раз выше, чем у дозатора, построенного на принципе гравитационного действия /кривые 1-6/. Опыты показали, что стабилизация коэффициента плотности укладки частиц центробежными силами позволяет сохранить или увеличить высокую точность дозирования.

В результате исследования получены зависимости коэффициента плотности укладки частиц  $K$  и погрешности  $3V_{az}$  от центростремительного ускорения  $a_u$  и времени  $t$  действия центробежных сил на сахар-песок в мерной ёмкости, поверхности отклика которых выражаются формулами

$$K = 0,62 + 12 \cdot 10^{-5} a_u + 23 \cdot 10^{-4} t - 16 \cdot 10^{-5} t^2 - 18 \cdot 10^{-6} a_u t + 2 \cdot 10^{-6} a_u t^2, \quad / 6 /$$

$$3V_{az} = 0,014 + 3 \cdot 10^{-6} a_u + 5 \cdot 10^{-4} t + 3 \cdot 10^{-5} t a_u + 4 \cdot 10^{-5} t^2 - 4 \cdot 10^{-6} a_u t^2. \quad / 7 /$$

Установлено, что время  $t$  оказывает незначительное влияние на коэффициент  $K$  и через несколько секунд значения последнего практически стабилизируются, что позволило в дальнейших исследованиях ограничить время действия центробежных сил на сыпучий продукт 5-ю секундами. Увеличение  $a_u$  с 16 до 178 м/с<sup>2</sup> при  $t = 10$  с привело к увеличению  $K$ , не превышающему 3,3 % по отношению к значениям при минимальном уровне фактора  $a_u$ .

Из уравнения /7/ следует, что погрешность дозирования с изменением факторов  $a_{ц}$  и  $t$  изменяется незначительно, при этом  $3V_{ог}$  в большинстве случаев не превышает 2 %.

Погрешность дозирования сахара-песка /рис.2/ сопоставлена с погрешностью, рассчитанной по формуле, при этом аналитические значения отличаются на 8...30 % от экспериментальных. Превышение экспериментальных значений погрешности над аналитическими обуславливается приближенным решением системы уравнений и действием неучтенных факторов в эксперименте.

Для получения рациональных параметров процесса дозирования произвели постановку опытов по дозированию различных сыпучих продуктов. Планирование этой серии опытов осуществляли по схеме гиперлатинского квадрата. В качестве факторов, влияющих на процесс дозирования, выбрали: время  $t$  выдержки сыпучего продукта в мерной ёмкости под действием центробежных сил, центростремительное ускорение  $a_{ц}$ , диаметр  $d$  и высоту  $h_e$  мерной ёмкости. Выходными параметрами процесса дозирования являлись коэффициент плотности укладки частиц  $K$ , характеризующий величину массы дозы, и показатель  $3V_{ог}$ , характеризующий погрешность дозирования.

Окончательные выражения  $\bar{K}$  и  $3V_{ог}$ , полученные после математической обработки:

для сахара-песка

$$\bar{K} = K_{ц} / (1 - \exp(-4,33 + 4 \cdot 10^{-4} a_{ц} + 75 \cdot 10^{-3} t + 52,6d - 13,78 h_e)), \quad / 8 /$$

$$3V_{ог} = 4,38 - 0,013 a_{ц} - 0,14 t - 46,11 d + 18,85 h_e ; \quad / 9 /$$

для сахарной пудры

$$\bar{K} = K_{ц} / (1 - \exp(-2,72 + 0,0038 a_{ц} + 0,052 t + 7,6d - 0,53 h_e)), \quad / 10 /$$

$$3V_{ог} = 1,64 - 2,87 \cdot 10^{-4} a_{ц} - 0,15 t - 22,86 d + 72,57 h_e ; \quad / 11 /$$

для чая

$$\bar{K} = K_u / (1 - \exp(-6,67 + 0,0089a_u + 0,45t + 43,6d - 6,3h_e)), \quad / 12 /$$

$$3V_{az} = 45,59 - 0,015a_u - 0,5t - 1162d + 42h_e ; \quad / 13 /$$

для какао-порошка

$$\bar{K} = K_u / (1 - \exp(-8,39 + 0,017a_u + 0,37t + 124d - 8,25h_e)), \quad / 14 /$$

$$3V_{az} = 55 - 222 \cdot 10^{-4} a_u - 4,1t - 1714d + 450h_e ; \quad / 15 /$$

для горчичного порошка

$$\bar{K} = K_u / (1 - \exp(-9,59 + 0,015a_u + 0,26t + 97d - 1,5h_e)), \quad / 16 /$$

$$3V_{az} = 47 - 83 \cdot 10^{-5} a_u - 3,9t - 801d + 152h_e . \quad / 17 /$$

Анализ эмпирических выражений показывает, что большее влияние на коэффициент  $\bar{K}$  порошкообразных продуктов /сахарная пудра, горчичный порошок, какао-порошок/ в отличие от зернистых оказывают  $a_u$  и  $t$  /изменение  $K$  до 10...20 %/ и меньшее  $d$  и  $h_e$ . С увеличением жесткости скелета сыпучего продукта влияние первых двух факторов на коэффициент  $\bar{K}$  уменьшается, а большее влияние начинает оказывать диаметр мерной ёмкости /изменение  $K$  до 5 %/. Из зависимостей погрешности дозирования от входных факторов для порошкообразных продуктов следует, что наибольшее влияние на величину  $3V_{az}$  оказывают размеры мерной ёмкости. С увеличением  $h_e$  повышается погрешность дозирования, а с увеличением  $d$  значения  $3V_{az}$  снижаются, что можно объяснить влиянием стенок мерной ёмкости на величину плотности укладки частиц. Для сахара-песка изменение погрешности от входных факторов составляет менее 1 %.

Полученные аналитические зависимости /8-17/ адекватно описывают процесс и могут наряду с теоретическими зависимостями применяться для расчета величины массы дозы и погреш-

ности дозирования в зависимости от принятых параметров работы дозатора и физических характеристик сыпучих материалов.

В пятой главе на основе выполненных исследований представлены три функциональные схемы процесса объёмного порционного дозирования с центробежным действием на сыпучий материал, которые различаются способом разгрузки мерных ёмкостей, происходящей в поле гравитационных, центробежных сил или механически в зависимости от физических характеристик дозируемого материала.

Процесс с центробежной разгрузкой мерных ёмкостей /рис.3а/ реализован в конструкциях дозаторов по а.с. №603605, 730619, 663622, 787270. Предложенные дозаторы позволяют наряду с повышением производительности повысить точность дозирования.

Вторая группа дозаторов /рис.3б/ конструкции по а.с. № 761371 и 766961 предназначена для дозирования мелкодисперсных материалов, вследствие чего реализован процесс с разгрузкой мерных ёмкостей в поле гравитационных сил.

По третьей схеме /рис.3в/ разработан шнековый дозатор, конструкция которого защищена а.с. №771468.

Выполненные исследования позволили разработать методики для расчета дозаторов различных функциональных схем.

Разработанный дозатор с центробежным действием на сыпучий продукт испытан на Одесской чаеразвесочной фабрике, в результате чего подтверждена достоверность полученных аналитическим путем параметров операции дозирования. Наряду с повышенной производительностью доказана возможность дозирования с минимальной погрешностью такого трудносыпучего продукта, как чай. Экономический эффект от внедрения одного автомата с разработанным дозатором составляет 18,8 тыс.руб в год.

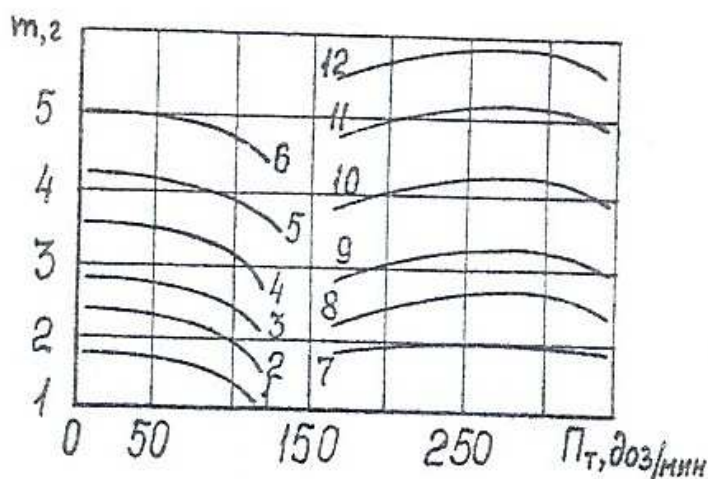


Рис.1. Зависимости массы дозы  $m$  сахара-песка от производительности  $\Pi_T$  дозатора. Значения  $10^8 V_e, \text{м}^3$ :  
 1,7 - 154 ; 2,8 - 201 ;  
 3,9 - 254 ; 4,10 - 314 ;  
 5,11 - 379 ; 6,12 - 452.

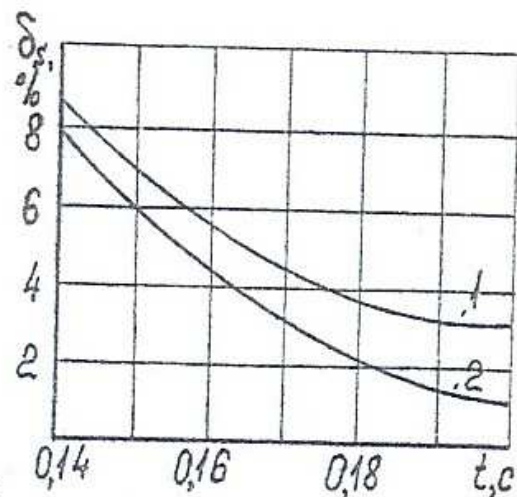


Рис.2. Зависимости погрешности  $\delta_s$  от времени дозирования  $t$ .  
 1 - кривая экспериментальных данных ; 2 - кривая теоретических данных.

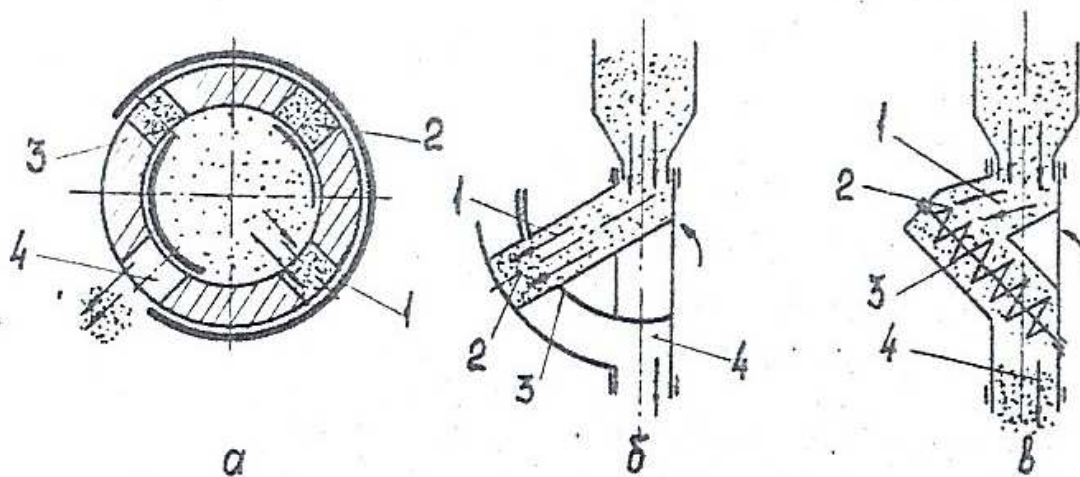


Рис.3. Схемы объемного порционного дозирования с центробежным действием на сыпучий материал: а - с центробежной разгрузкой, б - с гравитационной разгрузкой, в - с механической разгрузкой. 1 - заполнение мерного объема ; 2 - стабилизация плотности укладки частиц ; 3 - разделение материала ; 4 - разгрузка.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен метод порционного дозирования небольшими массами доз с центробежным действием на сыпучий материал, позволяющий увеличить производительность в 6-7 раз по сравнению с обычными методами, при снижении или сохранении величины случайной погрешности.

2. Выбрана математическая модель сыпучего материала, составлены дифференциальные уравнения, решена частная краевая задача и получены теоретические зависимости локальных и усредненных значений коэффициента плотности укладки частиц от размеров мерной ёмкости, величины и времени силового действия на сыпучий материал и его физических характеристик: плотности вещества и эквивалентного диаметра частиц, модуля упругости, коэффициентов бокового давления, Пуассона, внешнего трения, плотности укладки частиц при свободной засыпке, позволяющие проводить расчеты массы дозы и погрешности дозирования.

3. Предложен обобщенный показатель расхода сыпучих материалов через отверстия и определена эмпирическая зависимость этого показателя от физических характеристик сыпучего материала и размеров отверстия при истечении в поле гравитации.

4. Экспериментально подтверждена зависимость показателя расхода от диаметра отверстия истечения и величины результирующего ускорения в поле центробежных сил. Установлена возможность сокращения времени истечения сыпучего материала из отверстия.

5. Исследованиями получены эмпирические зависимости коэффициента плотности укладки частиц сыпучих пищевых продуктов и случайной погрешности дозирования от диаметра и высоты мерной ёмкости, величины и времени действия центроостреми-

ного ускорения, позволившие установить для каждого из исследованных пищевых продуктов рациональные параметры для проектирования высокопроизводительного объемного дозатора с формированием массы дозы под действием центробежных сил.

6. Установлено, что теоретические зависимости коэффициента  $K$  от размеров мерной ёмкости, величины и времени центростремительного ускорения и физических характеристик сыпучих продуктов адекватно описывают результаты экспериментального исследования и могут быть рекомендованы для расчета дозаторов с центробежным заполнением мерных ёмкостей.

7. Разработаны функциональные схемы и предложены конструкции высокопроизводительных объемных порционных дозаторов для небольших масс доз сыпучих пищевых продуктов с повышенной точностью к фасовочно-упаковочному оборудованию, реализующие результаты исследований.

8. Разработаны приборы для определения модуля упругости, коэффициента Пуассона, коэффициента бокового давления, расходных характеристик и коэффициентов внутреннего и внешнего трения, экспериментальные установки для исследования операции объемного порционного дозирования сыпучих пищевых продуктов.

9. Экспериментально определены физические характеристики сыпучих пищевых продуктов и получены их эмпирические зависимости от напряженного состояния продукта. Установлено, что в исследованном интервале нормальных напряжений сыпучие продукты вели себя как нелинейно-упругие.

10. Разработана классификация порционных дозаторов фасовочно-упаковочных автоматов по способу дозирования, методу формирования дозы, по силовому воздействию на сыпучий материал при дозировании и по конструктивному исполнению дозирующих ра-

бочих органов.

II. Проведенные промышленные испытания опытного образца дозатора выявили высокую эффективность применения дозаторов с центробежным действием на сыпучий пищевой продукт.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Петров В.Н., Петько В.Ф. Объемное дозирование чая под действием центробежных сил. Изв.вузов, Пищ.технология, 1980, № 5, с.103-106.
2. Петров В.Н., Петько В.Ф., Дударев И.Р. Исследования порционного дозирования сахара-песка объемными дозаторами. Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИПищепроме. Депонированные рукописи, ВИНТИ, 1980, № 8, с.68.
3. Петров В.Н., Петько В.Ф., Дударев И.Р. Истечение сыпучего материала под воздействием центробежных сил. Изв.вузов, Пищ.технология, 1981, № 5, с.74-76.
4. Петров В.Н., Петько В.Ф. Исследование физико-механических свойств пищевых сыпучих материалов. Тезисы докладов 4-ой Всесоюз.конф. "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1980, с.76.
5. Петько В.Ф., Петров В.Н. Теоретическое обоснование процесса объемного дозирования сыпучих материалов. Тезисы докладов 4-ой Всесоюз.конф. "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1980, с.204.
6. Петров В.Н., Гальперин Г.Д., Петько В.Ф. Исследование в области создания высокопроизводительного дозатора для фасовки муки в мелкую тару. Тезисы докладов Всесоюз.конф. "Научно-технический прогресс в зерноперерабатывающей промышленности", Одесса, 1977, с.56-57.
7. Петров В.Н., Гальперин Г.Д., Петько В.Ф., Поляков В.Я. Исследования зависимости массы дозы от кинематических и

- конструктивно-установочных параметров кольцевой загрузочной камеры. В кн.: Упаковочные автоматы - IV. Материалы 2-й Всесоюз. научн. конф. "Основные задачи теории конструирования и исследования упаковочных автоматов". Каунас, 1975, с.99-102.
8. Петров В.Н., Гальперин Г.Д., Петько В.Ф., Поляков В.Я., Истаев Д.М. Зависимость объемной массы дозы от параметров тупиковой загрузочной камеры объемного роторного дозатора муки. В кн.: Упаковочные автоматы - IV. Материалы 2-й Всесоюз. научн. конф. "Основные задачи теории конструирования и исследования упаковочных автоматов". Каунас, 1975, с.104-107.
9. Гальперин Г.Д., Петько В.Ф., Петров В.Н., Поляков В.Я. О точности объемного порционного дозирования сыпучих сред. В кн.: Упаковочные автоматы - IV. Материалы 2-й Всесоюз. научн. конф. "Основные задачи теории конструирования и исследования упаковочных автоматов". Каунас, 1975, с.102-104.
10. А.с. 603605 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов /Г.Д.Гальперин, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, Е.Г.Бурлаченко - Заявл.20.12.76 № 243226I - Б.и. 1978, № 15, с.66.
11. А.с. 663622 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов. /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, В.Я.Поляков. - Заявл. 06.09.77 № 25266I8 - Б.и. 1979, № 19, с.154.
12. А.с. 730619 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, О.В.Кашей. - Заявл. 21.09.78. № 2666255 - Б.и. 1980, № 16, с.132.

13. А.с. 706289 /СССР/ Устройство для изготовления, наполнения сыпучим материалом и запечатывания пакетов из ленточного термосклеивающего материала /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, В.Я.Поляков. - Заявл. 24.07.78 №2648483 - Б.и. 1979, № 48, с.63.
14. А.с. 748175 /СССР/ Устройство для определения сопротивления материалов сдвигу /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, А.А.Соловьев, В.С.Рыженко, В.Ф.Петько. - Заявл. 05.04.78 № 2600926 -Б.и. 1980, № 26, с.137.
15. А.с. 800823 /СССР/ Устройство для определения сыпучести материалов /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, В.С.Рыженко, И.Ю.Рачек, В.Я.Гамолич. - Заявл. 25.09.78 № 2665992 - Б.и. 1981, № 4, с.117.
16. А.с. 771469 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, Н.И.Шевченко. - Заявл. 07.07.78 № 2652908 - Б.и. 1981, № 38, с.146.
17. А.с. 787270 /СССР/ Устройство для дозирования и упаковки сыпучих материалов в термосклеивающуюся пленку /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, Н.С.Козырева. - Заявл.24.07.78 № 2648551 - Б.и. 1980, № 46, с.137.
18. А.с. 766961 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов /В.Н.Петров, И.Р.Дударев, В.Ф.Петько. - Заявл. 23.11,78 № 2687919 - Б.и. 1980, № 36, с. 128.
19. А.с. 761371 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, В.Ф.Петько, С.И.Агакишев, А.Н.Мультан. - Заявл. 19.07.78 № 2646691. -Б.и. 1980, № 33, с.128.
20. А.с. 835882 /СССР/ Устройство для дозирования сыпучих материалов /В.Н.Петров, И.Р.Дударев, В.Ф.Петько. - Заявл.

- 02.07.79 № 2789750 - Б.и. 1981, № 21, с.157.
21. Устройство для дозирования сыпучих материалов  
/ В.Н.Петров, И.Р.Дударев, В.Ф.Петько, В.Т.Гулавский.  
- Положительное решение по заявке № 2974835/13  
от 27.05.81.
22. А.с. 918819 /СССР/ Устройство для определения сыпучести материалов /В.Н.Петров, И.Р.Дударев, В.Ф.Петько, В.Я.Гамолитч, А.В.Чернов. - заявл. 21.07.80 № 2963587  
- Б.и. 1982, № 13, с.184.
23. А.с. 947689 /СССР/ Устройство для испытания сыпучих материалов /В.Ф.Петько, И.Р.Дударев, В.Н.Петров, С.В.Католичук - заявл. 18.08.80 № 2974438 -Б.и. 1982, № 28, с.198.

