

Автор ер.
и 89

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

~~На правах рукописи~~

ИСТАЕВ Джумабай Махашевич

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ
ДОЗИРОВАНИЯ МУКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
ФАСОВКЕ ЕЕ НА РОТОРНЫХ МАШИНАХ-АВТОМАТАХ

Специальность № 05.02.14. Машины и агрегаты пищевой
промышленности

(Диссертация написана на русском языке)

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

Одесса-1972

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ИСТАЕВ Джумабай Махашев

Переучет 1987

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ
ДОЗИРОВАНИЯ МУКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
ФАСОВКЕ ЕЕ НА РОТОРНЫХ МАШИНАХ-АВТОМАТАХ

Специальность № 05.02.14. Машины и агрегаты пищевой
промышленности

(Диссертация написана на русском языке)

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

Одесса-1972

К. В. 12031

Одесский технологический

Работа выполнена на кафедре „Технологическое оборудование“ Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент Гальперин Г.Д.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Платонов П.Н.,
кандидат технических наук, доцент Жидонис В.Ю.

Ведущее предприятие – Воронежское ЭКБ РУО.

Автореферат разослан „4“ ноября 1972 г.

Защита диссертации состоится „22“ декабря 1972 г.

на заседании Ученого совета Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах присылать по адресу: 270039, г.Одесса, ул.Свердлова, 112. Технологический институт пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова .

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

К.Т.Н.

Л. Зинин

ЗАПОРОЖЕЦ Л.А.

ВВЕДЕНИЕ

Директивы XXIУ съезда КПСС предусматривают всемерное развитие прогрессивных форм торговли, увеличение в необходимых объемах предварительной фасовки товаров. В частности, важной проблемой является увеличение производства муки в фасованном и упакованном виде развесом в 1,2 и 3 кг. К концу девятого пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР выпуск муки в мелкой упаковке должен быть доведен до 1,2 млн тонн.

Однако, отсутствие высокопроизводительных автоматов приводит к тому, что фасовка муки в мелкую тару осуществляется главным образом вручную. Следствием этого является систематическое невыполнение плана выпуска муки в мелкой упаковке. Для решения этой народнохозяйственно важной задачи необходимо расширение научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по созданию высокопроизводительных фасовочно-упаковочных автоматов.

Исследования, направленные на создание нового упаковочного оборудования, проводятся в СССР научно-исследовательскими и учебными институтами, специализированными лабораториями, КБ и заводами продовольственного машиностроения, а также отдельными учеными.

Работы И.И.Артоболевского, С.И.Артоболевского, В.Я.Белецкого, Б.Е.Бройдо, Ю.В.Бурлая, А.П.Владзиевского, Г.Д.Гальперина, В.В.Гортинского, М.Я.Дикиса, В.Ю.Жидониса, Д.Я.Ильинского, И.И.Капустина, А.М.Клусова, О.Г.Лунина, Г.А.Маршалкина, А.В.Петрокаса, В.Ф.Петько, А.Я.Соколова, И.И.Сторишко, Л.А.Сухого, С.В.Харламова, Г.А.Шаумяна, Г.А.Шувалова и др. внесли существенный вклад в теорию производительности и классификацию машин-автоматов, в исследование выполняемых ими цикловых операций и в разработку их функциональных и исполнительных механизмов.

Данная работа посвящена исследованию исходных технологических параметров для проектирования ссыежного дозатора муки роторного типа.

Реферируемая работа содержит 208 стр. машинописного текста, 44 рисунка, 50 таблиц и состоит из пяти глав, общих выводов и рекомендаций, библиографии и трех приложений (чистый текстовый материал 123 страницы).

Глава 1. МЕТОДЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ФАСОВКИ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ

Технологический процесс фасовки муки в мелкую тару в настоящее время реализуется в такой последовательности выполнения операций: изготовление либо подача готовых пакетов, дозирование, истечение дозы и заполнение пакетов, у уплотнение дозы в пакетах и их запечатывание. По данной схеме фасовки выполнялись фасовочно-упаковочные автоматы для муки марок АПДМ, АР-5 (не доведенный до производственных испытаний), АПМ, полуавтомат БПМ и автомат БРА, разработанные Воронежским ЭКБ РУО и машиностроительным заводом имени В.И.Ленина. Несмотря на разнообразие конструкций автоматов, операции дозирования, истечения и уплотнения оставались лимитирующими.

Производительность фасовочно-упаковочных автоматов зависит, в частности, от производительности дозирующих устройств. Существует несколько видов таких устройств: объемные, характерные высокой производительностью и низкой точностью, простотой конструкции и отсутствием быстроизнашивающихся деталей; весовые, отличающиеся низкой производительностью и высокой точностью дозирования, сложностью конструкции и наличием быстроизнашивающихся деталей; объемно-весовые, выделяющие объемным способом до 99% дозы с последующей досыпкой и весовым контролем, и, таким образом, представляющие компромиссное решение.

Для повышения производительности машин-автоматов весовые дозаторы были агрегатированы, т.е. параллельной работы (АРМ-2, ДАРМ-3), что при низкой производительности

сти (около 20 пакетов в минуту) привело к значительному увеличению габаритов и массы автоматов.

Производительность машин-автоматов может быть увеличена, если выполнять лимитирующие операции: обособленно в отдельной позиции машин с функциональными схемами II-го класса по классификации С.И.Артоболевского; в период полного рабочего цикла машин упомянутых схем; в ряде последовательно либо параллельно расположенных позиций (если такое выполнение технически возможно); изменением технологического процесса в его технологической, структурной, либо структурно-технологической вариантности; функциональным механизмом, характерным для функциональных схем более высокого класса.

Применением первых трех способов выполнения лимитирующих операций на упомянутых автоматах можно достичь некоторого увеличения производительности.

Согласно двум последним способам повышения производительности машин-автоматов, применяемый технологический процесс фасовки муки следует изменить в его структурно-технологической вариантности с реализацией лимитирующих операций на высокопроизводительных объемных дозаторах, относящихся по своей функциональной схеме к группе Ш-Б, и изыскать способ повышения точности дозирования.

Глава II. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ФАСОВОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ

Из известных классификаций рабочих машин штучной продукции наиболее рациональна классификация С.И.Артоболевского (1952 г.), позволяющая выбрать функциональную схему машины в соответствии с техническим заданием на проектирование. Теоретическая производительность P , одной машины по этой классификации является функцией периода ее рабочего цикла T_p .

Упомянутая классификация и теория производительности нуждаются в уточнениях. Классификационными признаками машин групп А и Б III класса, имеющих различные периоды T_p и, следовательно, различную производительность, должны быть

не совместность либо несовместность перемещений рабочих органов и обрабатываемых объектов и не количество реализуемых операций, а соотношение длительностей периода T_p и времени t_p выполнения лимитирующей (но не всегда самой длительной) операции, т.е. для машин

$$\text{группы III-A } \frac{T_p}{t_p} \geq 1, \quad \text{группы III-B } \frac{T_p}{t_p} \ll 1. (1)$$

Утверждения о независимости T_p от t_p в роторных машинах следует относить не к готовой машине, а к процессу ее проектирования, когда возможен самостоятельный выбор технологической и транспортной скоростей.

Глава III. К ВЫБОРУ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО ДОЗАТОРА МУКИ

При дозировании муки роторными дозаторами с мерными емкостями точность дозирования невысока. Это вызывается непостоянством физических характеристик муки в потоке (дисперсность, влажность и др.), вариацией плотности укладки частиц и явлением сводообразования муки в мерной емкости. Одной из эффективных мер, устраняющих этот недостаток, может быть вибрация мерной емкости в период ее заполнения мукой.

Из работ по вибрационным обработкам дисперсных материалов и исследований операций уплотнения сыпучих тел (Е.А.Банит, В.Ф.Петько, П.Н.Платонов и др.) известно, что плотность укладки частиц сыпучего тела зависит от физических характеристик продукта и параметров вибраций. Существуют оптимальные значения ускорения колебаний $A\omega^2$, при которых коэффициент плотности укладки K_u наибольший. Для получения удовлетворительной степени уплотнения сыпучих продуктов (мука, крупы и др.) инерционным способом требуется $t_u = 4 \div 10$ с. Применение инерционно-силового способа выполнения операции уплотнения позволяет добиться оптимальной плотности укладки частиц муки в пакетах ($\gamma = 730 \text{ кг/м}^3$), при которой доза занимает минимальный объем, продолжая оставаться сыпучим телом. Время выполнения операции уплотнения при этом уменьшается до 2 с.

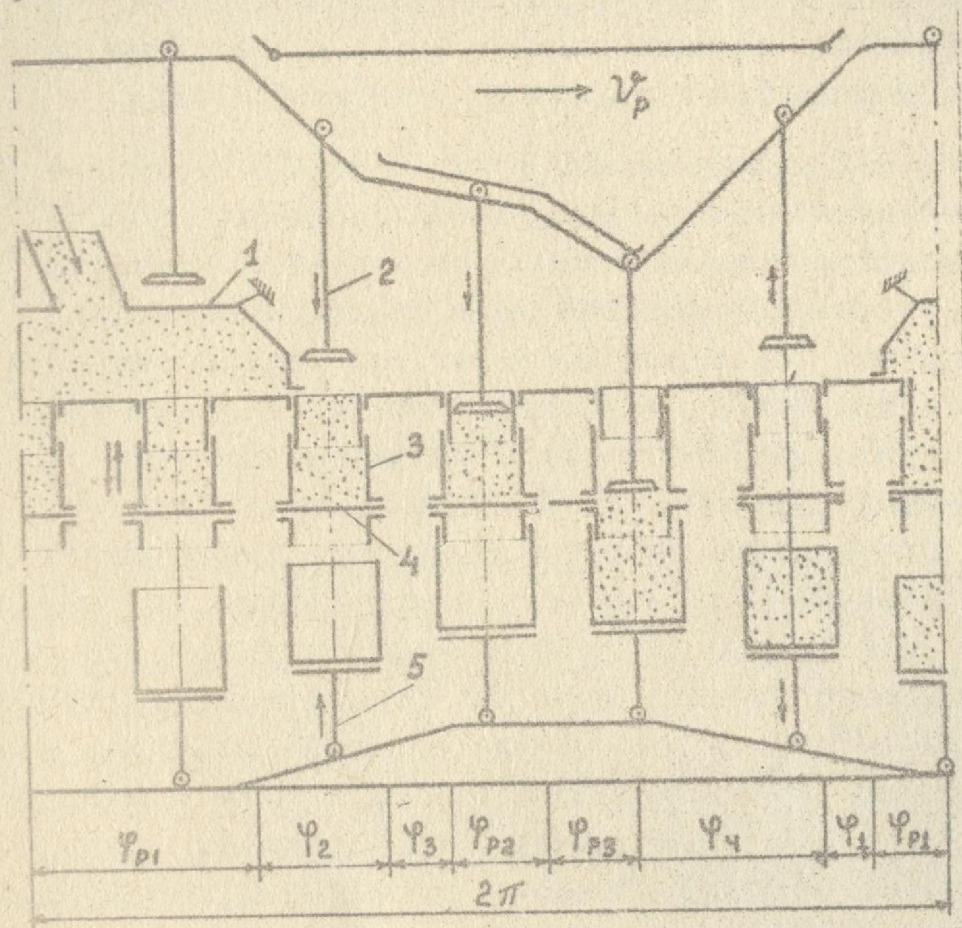
Поскольку вибрация мерной емкости в данной работе применяется не с целью максимального уплотнения доз, а для вибростабилизации объемной массы с целью повышения точности объемного дозирования, то представилось необходимым проведение исследования операции вибродозирования в зависимости от физических характеристик муки и конструктивно-технологических параметров дозатора роторного типа.

Согласно выводам, изложенным в гл. 1 и 11, целесообразно изменить физическое содержание трех операций применяемого технологического процесса фасовки: вместо гравитационного заполнения мерных емкостей ввести виброзаполнение с вибростабилизацией масс доз за счет регулирования параметров вибраций; инерционное уплотнение затаренных доз заменить инерционно-силовым бестарным непосредственно в мерных емкостях; гравитационное истечение сыпучих тел из мерных емкостей и заполнение пакетов заменить принудительным выводом доз и заполнением пакетов предварительно уплотненными дозами. При таком структурно-технологическом варианте процесса фасовки муки в мелкую тару операции, составляющие его, целесообразно выполнять в такой последовательности: дозирование (с виброзаполнением и вибростабилизацией масс доз), силовое уплотнение незатаренных доз, подача порожних пакетов, принудительное заполнение пакетов и их запечатывание.

В связи с этим целесообразно в одном агрегате (дозаторе), кроме операций дозирования, сосредоточить группу смежных операций, а именно: уплотнение доз в мерных емкостях и принудительное заполнение пакетов уплотненными дозами.

Под операцией дозирования следует понимать совокупность следующих технологических переходов (фаз): ввод мерной емкости под загрузочную камеру, виброзаполнение с вибростабилизацией массы дозы, вывод заполненной мерной емкости из-под загрузочной камеры. Таким образом, операция дозирования — это выделение дозы мерной емкостью, включающее вышеназванные технологические переходы.

Функциональная схема роторного дозатора, реализующая предложенный структурно-технологический вариант фазовки, представлена на рис.1. На этой схеме показаны следующие операции и фазы: гравитационная подача продукта в



загрузочную камеру 1, заполнение мерной емкости 3 продуктом с одновременной вибростабилизацией объемной массы доз; вывод мерной емкости из-под загрузочной камеры. Одновременно происходит сближение пуансона 2 с поверхностью дозы и одевание пакета на патрубков мерной

Рис.1. Функциональная схема роторного дозатора муки.

емкости; силовое уплотнение дозы в мерной емкости с помощью уплотняюще-выталкивающих пуансонов 2; закрытиешибера 4 и возвращение пуансона 2 в верхнее, а носителей пакетов 5 - в нижнее положения.

Достоинством функциональной схемы роторной машины является ее приспособленность к реализации с одинаковой производительностью операций с различной потребной для тельностью выполнения.

Роторное исполнение технологической машины считают (И.А.Клусов и др.) целесообразным, если ее минимальная теоретическая производительность

$$\Pi_{\min} \geq \frac{u_p}{t_{\text{осн}} + t_{\text{доп}}} = \frac{u_p}{T_k},$$

где U_p — число гнезд (позиций) ротора, шт; $t_{осн} = \sum t_p$ — потребное время для выполнения несовмещенных во времени обработочных операций, с; $t_{доп} = \sum t_x$ — потребное время выполнения вспомогательных операций, холостых перемещений и выстоев рабочих органов, устанавливаемое конструктивной проработкой, с; $T_k = t_{осн} + t_{доп}$ — период кинематического цикла, с.

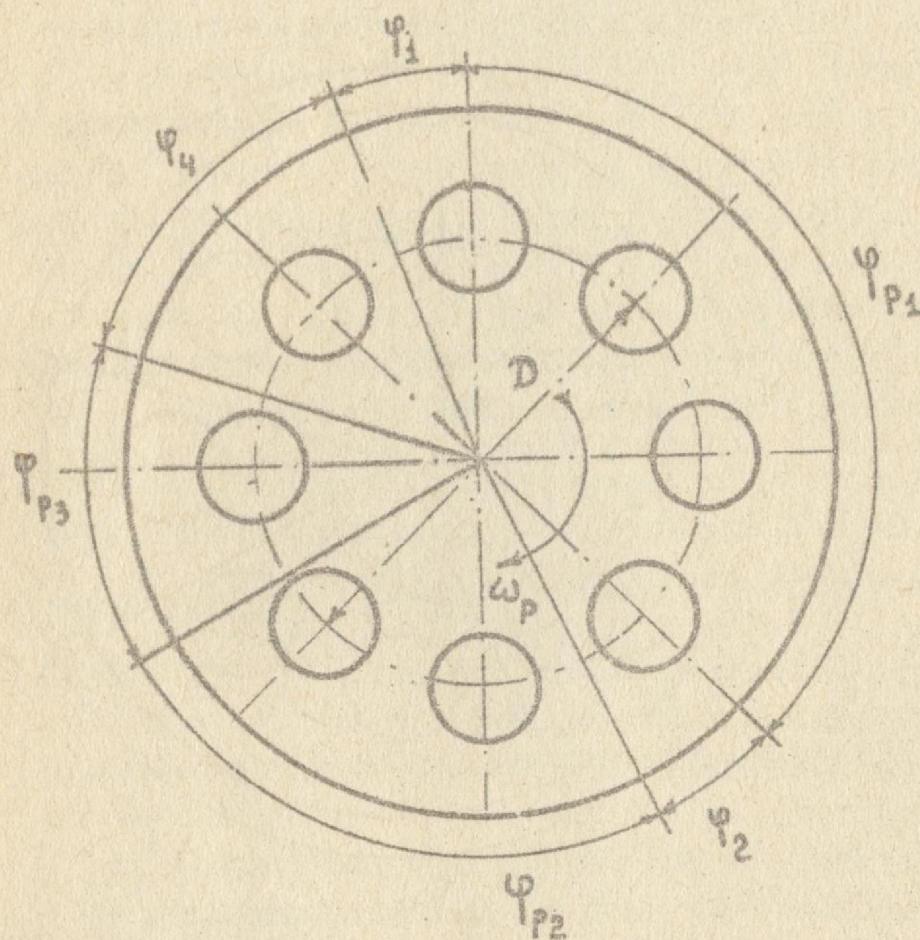


Рис.2. Цикловая диаграмма роторного дозатора муки.

Период T_k для выбранной функциональной схемы роторного дозатора муки определяет — суммой затрат времени на выполнение обработочных операций: виброзаполнения мерной емкости со стабилизацией объемной массы дозы — $t_{p1}(\psi_{p1})$, силового уплотнения — $t_{p2}(\psi_{p2})$ и выталкивания уплотненной дозы в пакет — $t_{p3}(\psi_{p3})$, а также вспомога-

тельных операций (их фаз) и холостых ходов рабочих органов ввода порожней емкости под загрузочную камеру — $t_1(\psi_1)$, вывода за-полненной емкости из-под загрузочной камеры — $t_2(\psi_2)$, сближения пуансона с поверхностью дозы — $t_3(\psi_3)$, возврата пуансона в исходное положение после выталкивания дозы — $t_4(\psi_4)$.

Таким образом, $T_k = t_{осн} + t_{доп} = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4$.

Время t_{p1} подлежало экспериментальному определению.

Г л а в а IV. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Целью настоящей работы является технологическое исследование операции дозирования для возможности создания высокопроизводительного роторного дозатора муки применительно к фасовке на роторных машинах-автоматах.

Для реализации программы экспериментальных исследований было выполнено:

1. И с с л е д о в а н и е интервалов изменения физических характеристик муки в потоке и их влияние на объемную массу дозы. При этом устанавливался интервал изменения физических характеристик муки (дисперсность, влажность и др.), а также интервал колебаний (скорость изменения) объемной массы муки в потоке для обоснования потребной длительности периода информационного цикла $T_{\text{и}}$.

Исследованы физические характеристики муки высшего и первого сортов различной влажности в производственных условиях. Гранулометрический состав муки определялся ситовым, согласно ГОСТу 9404-60, и седиментометрическим анализами. Влажность муки определена согласно ГОСТу 3040-55. Коэффициенты сопротивления внутреннему сдвигу f и относительному движению слоев сыпучего тела f' определялись на специально сконструированном приборе по усилию относительного сдвига площадки с наклеенным на нее слоем частиц по неподвижному слою сыпучего тела. Аналогичным образом определялся коэффициент сопротивления внешнему сдвигу $f_{\text{в}}$ и $f'_{\text{в}}$. Измерение сдвигающих усилий проводилось электротензометрическим методом.

2. И с с л е д о в а н и е возможности повышения точности объемного дозирования путем виброзаполнения мерной емкости. Для исследования применен специальный вибростенд, сконструированный В.Ф.Петько, позволяющий изменять режимы колебаний мерной емкости в интервалах: амплитуда $A = (0,5 \div 5,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$; круговая частота $\omega = 0,10 \div 214,00 \text{ рад/с}$; время виброуплотнения $T_y = 0 \div 9 \text{ с}$, задаваемое с помощью реле времени марки ЭЕ-234, а при $T_y > 9 \text{ с}$ секундомером.

На данном вибростенде устанавливалось влияние режимов вибраций на показатели возможной и фактической точности дозирования (по И.И.Сторижко) муки различной влажности, которые характеризуются: относительным отклонением массы каждой дозы m_i от средней арифметической массы $\bar{m}$ совокупности N подряд отобранных доз

$$\delta_{\frac{i}{N}} = \frac{m_i - \bar{m}}{\bar{m}} \cdot 100\% ;$$

- коэффициентом вариации масс доз m_i относительно средней массы $\bar{m}$ совокупности N доз

$$V_{az} = \frac{S}{\bar{m}} \cdot 100\% ;$$

- размахом варьирования масс доз

$$R_b = m_{i_{max}} - m_{i_{min}} \text{ г},$$

где S - среднее квадратическое отклонение масс доз относительно средней массы $\bar{m}$ совокупности N доз, г.

δ . Показатель уровня настройки дозатора

$$\Delta = \bar{m} - m_n \text{ г}, \quad \delta_{\frac{N}{N}} = \frac{\bar{m} - m_n}{m_n} \cdot 100\%$$

и номинальную точность объемного дозирования

$$\delta_{\frac{i}{N}} = \frac{m_i - m_n}{m_n} \cdot 100\%, \quad V_{azn} = \frac{S_n}{m_n} \cdot 100\%,$$

где Δ - абсолютное отклонение средней массы дозы $\bar{m}$ от m_n , г;

m_n - номинальная массы дозы, г;

$\delta_{\frac{N}{N}}$ - относительное отклонение средней массы $\bar{m}$ совокупности N доз от m_n , %;

$\delta_{\frac{i}{N}}$ - относительное отклонение каждой дозы m_i от m_n , %;

V_{azn} - коэффициент вариации масс доз m_i относительно m_n , %;

S_n - среднее квадратическое отклонение масс доз m_i от m_n , г.

3. Р а з р а б о т к а и изготовление экспериментального роторного дозатора. На основе предложенного структурно-технологического варианта процесса фасовки изготовлен и отлажен экспериментальный роторный дозатор, кинематическая схема которого представлена на рис.3.

Над ротором 1 с мерными емкостями 2 расположена загрузочная камера 3, закрепленная на станине 4. При вра

щении ротора мерные емкости, проходя поочередно под загрузочной камерой, заполняются мукой и одновременно подвергаются вибрациям. Затем дозы муки уплотняются в мерных емкостях свободно или принудительно пуансонами 5 и подаются в пакет.

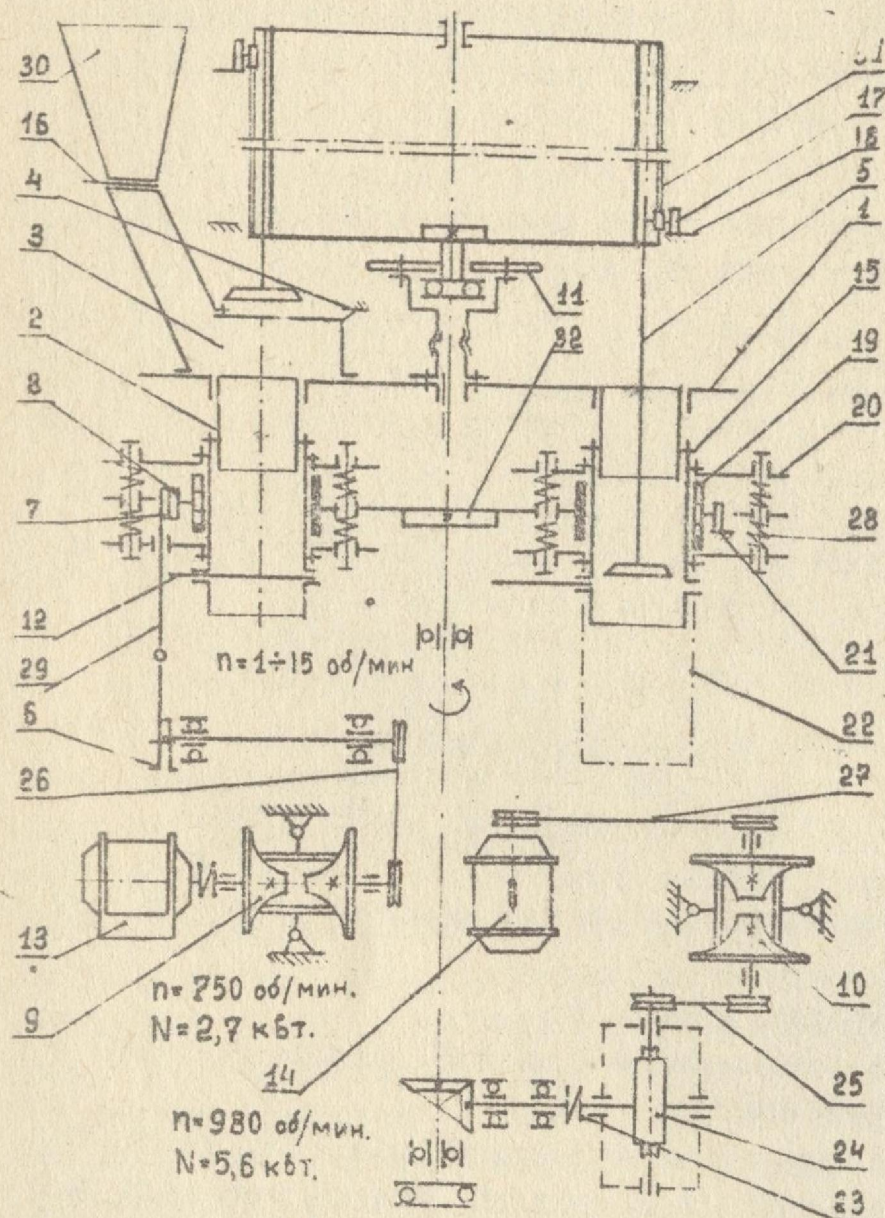


Рис.3. Кинематическая схема экспериментального роторного дозатора муки.

Мерные емкости в роторе имеют круглую (диаметр 0,148 м) и прямоугольную формы сечений, соизмеримые с размерами стандартных пакетов. Загрузочная камера имеет регулируемую высоту в интервале $h_{зк}=0,05 \div 0,30$ м и длину $l_{зк}=0,10 \div 0,75$ м, а ширина $b_k=0,2$ м (применительно к ширине пакетов).

Гармонические колебания мерные емкости получают от эксцентрикового колебателя 6 посредством пазового сектора 7 и ролика 8, посаженного на палец, закрепленный в нижней части мерной емкости. Амплитуда колебаний мерной емкости регулируется в интервале $A = (0,5 \div 5,0) \cdot 10^{-3}$ м изменением взаимного положения полумуфт эксцентрика, а круговая частота — в интервале $\omega = 30 \div 315$ рад / с посредством вариатора оборотов 9.

Время обработочной операции t_{pi} определяется для -
 ной L_{zk} загрузочной камеры и скоростью вращения ротора, т.е.
 $t_{pi} = L_{zk} / v_p$. Интервал регулирования $v_p = 0,10 \div 0,60$ м/с, а
 $t_{pi} = 1 \div 1,5$ с. Дно мерных емкостей шиберное, открываемое
 индивидуальной пружиной. Радиус окружности ротора по цен-
 тру мерных емкостей $R_p = 0,3$ м.

4. И с с л е д о в а н и е операции дозирования
 муки роторным дозатором в зависимости от кинематических
 и конструктивных параметров. В этом исследовании устанавливалось влияние кинематических и конструктивных параметров дозатора на выходную точность дозирования. Опыты проводились с мукой высшего и первого сортов.

5. И с с л е д о в а н и е с целью выявления оптимального режима дозирования осуществлено применением многофакторного планирования экспериментов, позволившего найти математическую модель операции дозирования в статике. Повторность опытов десятикратная. Измерение амплитуды A и круговой частоты ω осуществлялось вибрографом ВР-1 с погрешностью $\pm 0,6\%$ и тахометром марки ИО-30 с погрешностью показаний $\pm 2\%$ от максимального значения шкалы в каждом диапазоне скоростей.

Г л а в а У. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Исследованиями, проведенными на мелькомбинате № 1 г.Одессы в августе-сентябре 1967г., было установлено: мука первого сорта включает различные классы крупности ($20 \div 250$ мкм) с преобладанием ($54 \div 70\%$) частиц диаметром от 30 до 70 мкм; гранулометрический состав муки, выработанной на одной и той же мельнице, различен, хотя по крупности она является стандартной; влажность муки, идущей на фасовку, может изменяться в интервале $B_A = 12 \div 15\%$; в течение одной, случайно выбранной, смены, влажность муки изменялась во времени с интенсивностью $\bar{v} = 0,006$ %/мин в интервале $B_A = 12,4 \div 14,7\%$ (со средней $\bar{B}_A = 13,2\%$, $S = 0,5\%$, $R_g = 2,2\%$ и $V_{az} = 3,78\%$).

Плотность вещества частиц для муки первого сорта $\chi_v = 1470 \text{ кг/м}^3$ и высшего - $\chi_v = 1460 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент внутреннего трения муки f' при $B_A = 10,8 \div 13,0\%$ в зависимости от давления на слой P_c изменяется в среднем на 18%. Коэффициент внешнего трения движения f'_g при $P_c = 500 \div 3000 \text{ Па}$ изменяется в среднем на 16% для пластмасс (ТУ МХП 26-54), - на 13% для термопласта (ТУ М 617-57) и на 15% для оцинкованной стали (ГОСТ 7118-54).

Объемная масса χ потока муки в условиях производства непостоянна и в течение смены изменялась в интервале $\chi_i = 490,00 \div 505,10 \text{ кг/м}^3$ при $\bar{\chi} = 496,26 \text{ кг/м}^3$, что вызывает погрешность дозирования $\delta_{\chi} = (+1,3 \div -1,8)\%$.

На объемную массу потока муки влияют случайные факторы, не поддающиеся учету, такие, как нарушение стабильности технологического потока, непостоянство физических характеристик исходного сырья и др. Совокупное действие возмущений, как показали расчеты, вызывает отклонения χ_i от $\bar{\chi}$ и требует периодической наладки объемного дозатора на выпуск номинальной массы дозы с периодом $T_n = 1 \text{ мин.}$

2. Исследования возможности повышения точности объемного дозирования путем вибростабилизации масс доз проводились с мукой первого сорта на вибростенде с мерной емкостью, выполненной из листовой стали, по внутреннему объему и размерам, соответствующей пакету №10 ГОСТ 6420-52 и при режиме $A = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\omega = 83,60 \div 125,60 \text{ рад / с}$, $\tau_y = 3, 5, 7, 10 \text{ и } 15 \text{ с.}$

В результате исследования установлено, что на массу дозы m_i значительное влияние оказывают τ_y и ω . Возможная выходная точность дозы $\delta_{\chi} = (+0,55 \div -0,65)\%$, тогда как без вибраций $\delta_{\chi} = (+2,2 \div -2,5)\%$.

Исследования влияния изменений влажности муки высшего сорта в интервале $B_A = 12,8 \div 14,7\%$ на массу дозы m_i проводились на том же вибростенде при следующих параметрах режима: $A = (1 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\omega = 88,90 \div 125,60 \text{ рад/с}$ и $\tau_y = 1 \div 5 \text{ с.}$ Мерная емкость по размерам и объему соответствовала пакету № 10 ГОСТ 6420-50. В результате опытов

установлено, что влажность муки оказывает влияние на коэффициент плотности укладки частиц K_y , при формировании дозы в мерной емкости. Это влияние описывается уравнением регрессии в виде параболы второго порядка

$$m_i = 969,0571 - 18,8390 B_A + 1,2785 B_A^2, \text{ г}$$

с корреляционным отношением $\eta_K = 0,84$. Для достижения бо-
льшей плотности укладки муки с $B_A = 13,4 \div 14,7\%$ необходи-
ма меньшая амплитуда $A (1 \div 2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, большие ω и T_y , а
для муки с $B_A = 12,4 \div 13,4\%$ большая $A (2,0 \div 3,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и мень-
шие ω и T_y . Режимом, при котором достигается высокая
возможная выходная точность дозы при $B_A = 12,4 \div 14,7\%$, яв-
ляются $A = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $\omega = 104,9 \text{ рад/с}$.

3. Исследования операции дозирования муки дозато-
ром роторного типа проводились с мерной емкостью круглой
формы сечения с внутренним диаметром 0,148 м, соизмери-
мой по периметру со стандартным пакетом. Параметры ре-
жима дозирования изменяли в интервалах $v_p = 0,157 \div 0,245 \text{ м/с}$,
 $A = (1,2 \div 3,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $V_e = (33,0 \div 46,0) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ и $\omega = 63,80 \div$
 $126,60 \text{ рад/с}$. Заполнение мерной емкости осуществлялось за
счет струи продукта непосредственно из бункера и стоя про-
дукта в загрузочной камере, размеры которой установлены
поисковыми исследованиями. Подопытными продуктами были
мука первого ($B_A = 14,0\%$) и высшего ($B_A = 13,5\%$) сортов.

Исследованиями установлено:

– фактическая выходная точность дозы (погрешность) в
исследованных интервалах $\delta_i \leq \pm 0,8\%$, тогда как при дози-
ровании без вибростабилизации $\delta_i \geq \pm 3,5\%$. Следовательно,
вибростабилизация масс доз повышает выходную точность
объемного дозирования муки;

– между массой дозы m_i и параметрами вибраций (A, ω, t_{p1}) существует корреляционная зависимость, выражаемая
уравнениями регрессии в виде параболы второго порядка

$$m_i = 1884,7658 + 57,4922 A - 8,1664 A^2, \text{ г};$$

$$m_i = 1880,2633 + 1,7172 \omega - 0,0033 \omega^2, \text{ г};$$

$$m_i = 2028,2080 - 90,4000 t_{p1} + 30,0000 t_{p1}^2, \text{ г}.$$

Вычисленные значения корреляционных отношений свидетельствуют об интенсивной связи между m_i и A ($\eta_k = 0,85$), ω ($\eta_k = 0,84$) и t_{p1} ($\eta_k = 0,95$);

— из регулируемых параметров наиболее интенсивно влияет на массу дозы объем мерной емкости V_e , менее интенсивно — круговая частота ω и амплитуда A ;

— из регулируемых параметров наиболее удобным для настройки дозатора на m_n является круговая частота ω , регулирование других параметров менее приемлемо, поскольку, во-первых, изменение объема мерной емкости приводит к заклиниванию мукой телескопических ее сочленений, во-вторых, при известных Π_r и u_p окружная скорость v_p не подлежит регулированию, в-третьих, изменение амплитуды конструктивно сложно, в-четвертых, при фиксированных L_{zk} и v_p время t_{p1} изменять нельзя;

— поскольку величина дозы m_i является зависимой от v_p , V_e , A , ω и значение ее при трех фиксированных переменных зависит от уровня, на котором находятся эти переменные, следует найти оптимальные режимы дозирования, т. е. найти значения v_p , V_e , A , ω , при которых точность дозирования наивысшая.

4. Исследование с целью выявления оптимального режима дозирования осуществлено применением многофакторного планирования экспериментов. Задача решалась в такой последовательности: выбор критерия оптимизации; математическое описание процесса посредством постановки эксперимента по факторному планированию; нахождение экстремума функций; экспериментальная проверка полученных значений критериев оптимизации.

Из предыдущих опытов выбраны следующие независимые факторы: окружная скорость вращения ротора $v_p = L_{zk} / t_{p1} (x_1)$, объем мерной емкости $V_e (x_2)$, амплитуда $A (x_3)$ и круговая частота $\omega (x_4)$. Значения этих факторов исследованы в интервалах: $v_p = 0,18 \div 0,27$ м/с, $V_e = (29,88 \div 37,56) \cdot 10^{-4}$ м³ и $\omega = 63,0 \div 140$ рад/с. Для исследования была взята мука первого сорта с $B_n = 13,0\%$. Критерием оптимизации были приняты показатели Δ и δ_n .

Опыты проводились на экспериментальном роторном дозаторе с мерной емкостью круглого сечения. Номинальная масса дозы $m_n = 2$ кг.

Для получения линейной модели процесса реализован дробный факторный эксперимент типа 2^{4-1} . Число факторов $k=4$. Опыты дублировали десятикратно ($n=10$) и проводили в случайном порядке. Статистические оценки полученных результатов включали: проверку на равнозначность опытов (по критерию Кохрена), определение значимости полученных коэффициентов ряда Тейлора (по критерию Стьюдента) и проверку адекватности полученных моделей к искомым (по критерию Фишера).

Поскольку представление процесса линейной моделью оказалось неадекватным, на втором этапе исследования реализована схема ротатабельного центрального композиционного планирования (табл.1), состоящая из полного факторного эксперимента типа 2^4 , восьми „звездных“ и семи нулевых точек. Общее число точек $N=31$.

По результатам экспериментов получены уравнения регрессии второго порядка:

$$y_1 = \Delta = 40,0013 + 22,9163x_1 - 67,0823x_2 - 5,1466x_3 - 8,7499x_4 + 1,1450x_1^2 - 3,8550x_2^2 + 6,1450x_3^2 + 11,1456x_4^2 - 8,1250x_{12} + 4,3750x_{13} - 0,6250x_{14} - 8,1250x_{23} + 1,8750x_{24} + 1,8750x_{34}; \quad (2)$$

$$y_2 = \delta_N = 2,0007 + 1,1458x_1 - 3,3541x_2 - 0,2708x_3 - 0,4375x_4 + 0,0573x_1^2 - 0,1927x_2^2 + 0,3073x_3^2 + 0,5573x_4^2 - 0,4063x_{12} + 0,2187x_{13} - 0,0312x_{14} - 0,4063x_{23} + 0,0937x_{24} + 0,0937x_{34}; \quad (3)$$

Таким же путем исследована операция дозирования муки высшего сорта с $\beta_n = 13 \pm 0,5\%$ на $m_n = 2$ кг и получены аналогичные уравнения второго порядка:

$$y_3 = \Delta = 35,0003 + 21,2497x_1 - 91,2485x_2 - 8,7499x_3 - 8,7499x_4 + 11,9884x_1^2 + 3,8636x_2^2 - 1,9984x_3^2 + 1,3634x_4^2 + 5,0000x_{12} - 5,6249x_{13} - 10,6248x_{14} + 1,2500x_{23} - 5,6249x_{24} - 8,7499x_{34};$$

$$y_4 = \delta_H = 1,7500 + 1,0625x_1 + 4,5624x_2 - 0,4375x_3 - 0,4375x_4 + 0,5994x_1^2 + 0,1932x_2^2 + 0,0999x_3^2 + 0,0682x_4^2 + 0,2500x_{12} - 0,2812x_{13} - 0,5313x_{14} + 0,0625x_{23} - 0,2813x_{24} - 0,4375x_{34}. \quad (5)$$

Р. В. 12031

Т а б л и ц а 1

Обозначение факторов			$x_1(\nu_p)$	$x_2(V_e)$	$x_3(A)$	$x_4(\omega)$	y_a	z_a^2
Единицы измерения			м/с	10^{-4}м^3	10^{-3}м	рад/с	г	г^2
Интервал варьирования			0,04	1,92	1,0	25,74		
У р о в н и	:	- основной	0,19	33,72	2,2	83,29		
	:							
	:	- верхний	0,23	34,64	3,2	109,03		
	:	- нижний	0,15	31,80	1,2	57,55		
Порядок реализации	6	1	-	-	-	-	100	30,0
	24	2	+	-	-	-	160	25,0
	12	3	-	+	-	-	0	50,0
	3	4	+	+	-	-	20	12,5
	8	5	-	-	+	-	100	25,0
	5	6	+	-	+	-	170	22,5
	9	7	-	+	+	-	+40	12,5
	13	8	-	+	+	-	+10	25,0
	27	9	-	-	-	+	80	62,5
	7	10	+	-	-	+	130	12,5
	31	11	-	+	-	+	+20	25,0
	28	12	+	+	-	+	+10	20,0
	22	13	-	-	+	+	80	15,0
	23	14	+	-	+	+	140	17,5
	25	15	-	+	+	+	+60	25,0
	20	16	+	+	+	+	+10	20,0
	4	17	-2	0	0	0	0	12,5
	10	18	+2	0	0	0	100	62,5
	2	19	0	-2	0	0	160	37,5
	16	20	0	+2	0	0	+100	37,5
	17	21	0	-0	-2	0	80	36,5
	26	22	0	0	+2	0	60	40,0
	19	23	0	0	0	-2	100	12,5
	18	24	0	0	0	+2	80	35,0
	30	25	0	0	0	0	45	12,5
	15	26	0	0	0	0	35	12,5
	1	27	0	0	0	0	40	37,5
	11	28	0	0	0	0	45	25,0
	14	29	0	0	0	0	35	25,0
	29	30	0	0	0	0	40	25,0
	21	31	0	0	0	0	40	50,0

Для 5%-го уровня значимости уравнения (2), (3), (4), (5) адекватны.

Уравнения (3) и (5) приведены к каноническому виду

$$y - y_s = \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2, \quad i=1, 2, \dots, k,$$

где B_{ii} — коэффициент канонической формы;

X_i — новая координатная ось;

y_s — значение выхода y в новом начале координат.

Для получения характеристического полинома использован метод А.М.Данилевского; решение полинома проведено на ЭЦВМ „Раздан-2“ методом итерации. Установлено, что рассматриваемые поверхности относятся к типу „минимакс“. Найдены выражения для новой системы координат.

На основании полученных выражений построены графики зависимости уровня настройки дозатора на m_H от рассматриваемых факторов: $y_i = f(x_1)$, $y_i = f(x_2)$, $y_i = f(x_3)$, $y_i = f(x_4)$, где $i = 2, 4$.

Построены двумерные поверхности отклика по уравнениям (3) и (5): $y_2 = f(x_3, x_4)$ и $y_4 = f(x_3, x_4)$.

Определение оптимального режима настройки дозатора на m_H производили методами перебора и случайного поиска, реализуемыми на ЭЦВМ „РАЗДАН-2“ и БЭСМ-4 с использованием транслятора ТА-1М с применением Алгол-60.

В результате анализа полученных значений установлены следующие оптимальные параметры режима: для муки первого сорта $A = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $V_e = 35,40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, $\omega = 108,15 \text{ рад/с}$ и $t_{p1} = 2,7 \text{ с}$; для муки высшего сорта — $A = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $V_e = 34,64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, $\omega = 110,00 \text{ рад/с}$; $t_{p1} = 2,5 \text{ с}$.

Экспериментальная проверка оптимальных режимов настройки дозатора на $m_H = 2 \text{ кг}$ дала следующие результаты: мука высшего сорта $\delta_{\frac{m}{H}} = \pm 0,075\%$, $\delta_{\frac{V}{H}} = (+1,0 \div -0,5)\%$,

$S = 10,42 \text{ г}$, $V_{az} = 0,52\%$; мука первого сорта — $\delta_{\frac{m}{H}} = \pm 0,2\%$,

$\delta_{\frac{V}{H}} = (+0,50 \div -0,75)\%$, $S = 9,7 \text{ г}$, $V_{az} = 0,48\%$.

Из результатов исследования можно сделать следующие выводы.

1. На основе всестороннего анализа информации из браны факторы, существенно влияющие на операцию дозирования.

2. Математическая модель процесса является нелинейной и аппроксимируется полиномом второго порядка.

3. На основе выявленной математической модели процесса найдены оптимальные технологические параметры дозирования и геометрические параметры конструктивных элементов дозатора.

4. Результаты исследования можно применять для расчета и конструирования объемных дозирующих устройств роторного типа для труднотекучих продуктов, таких как пшеничная мука первого и высшего сортов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Теория производительности и классификации рабочих машин нуждается в уточнениях:

— классификационные признаки групп А и Б III-го класса машин штучной продукции по классификации С.И.Артоболевского не определяют их производительности; в качестве таких признаков следует принять соотношение длительности периодов рабочих циклов T_p и выполнение лимитирующей (но не всегда самой длительной) операции t_{p1} ;

— утверждения, приведенные в литературе (Л.Н.Кошкин и др.) о независимости T_p от t_p в роторных машинах, следует относить не к готовой машине, а к процессу ее проектирования, когда возможен самостоятельный выбор технологической и транспортной скоростей.

2. В результате анализа работы дозирующих устройств избран технологический процесс фасовки, выполняемый в последовательности: дозирование, бестарное уплотнение и принудительное введение уплотненной дозы в пакет с реализацией этого процесса объемным дозатором роторного типа с мерными емкостями.

3. Экспериментальными исследованиями установлено:

— на массу дозы при постоянном объеме мерной емкости влияют параметры вибраций (амплитуда A , круговая частота ω) и время вибростабилизации τ_y ;

- применение виброзаполнения позволяет регулировать массу дозы изменением режима вибраций, а не изменением объема мерных емкостей;

- фактическая выходная точность дозы (погрешность) в исследованных интервалах $\delta_{\bar{z}} \leq \pm 0,8\%$, тогда как при дозировании без вибростабилизации $\delta_{\bar{z}} \geq \pm 3,5\%$;

- существует корреляционная связь, выражаемая параболой второго порядка, между массой дозы и амплитудой вибрации A , круговой частотой ω , а также временем виброзаполнения с вибростабилизацией t_{p1} , с помощью которых можно регулировать массу дозы до m_n при возмущениях, вызываемых непостоянством физических характеристик муки.

4. Предварительным экспериментальным исследованием изысканы параметры конструкции роторного дозатора, т.е. диаметр ротора, форма, размеры и конструкция мерной емкости и загрузочной камеры, количество и шаг мерных емкостей.

5. На основании экспериментального изучения операции дозирования получена математическая модель путем использования метода многофакторного планирования эксперимента, позволившего избрать оптимальную стратегию исследования при неполной информации о механизме происходящих явлений. Используя дробные реплики от полного факторного эксперимента и ротатабельное центральное композиционное планирование эксперимента, получены уравнения регрессии 11-го порядка для четырех факторов (время виброзаполнения с вибростабилизацией масс доз t_{p1} ; объем мерной емкости

V_e , амплитуда A и круговая частота ω колебаний мерной емкости), адекватно описывающие процесс при надежности оценки $R = 0,95$. Процесс описывается поверхностями типа "минимакс".

По полученным моделям определены:

- частные зависимости уровня настройки дозатора от исследуемых факторов (построены одномерные сечения типа $y_i = f(x_i)$ и некоторые двумерные сечения типа $y_{2,4} = f(x_3, x_4)$ поверхностей отклика);

— оптимальные конструктивные, технологические и кинематические параметры роторного дозатора при дозировании муки первого и высшего сортов соответственно равны

$$V_p = 0,21 \text{ м/с}, V_e = 35,40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3, A = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \omega = 108,15 \text{ рад/с} \text{ и}$$

$$V_p = 0,23 \text{ м/с}, V_e = 34,64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3, A = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \omega = 110,00 \text{ рад/с}.$$

Экспериментальная проверка оптимальных режимов дозирования на $m_n = 2 \text{ кг}$ дала следующие результаты: мука высшего сорта $\delta_{\frac{w}{H}} = \pm 0,08\%$, $\delta_{\frac{i}{H}} = (+1,0 \div - 0,5) \%$, $S = 10,42 \text{ г}$ и $V_{az} = 0,52\%$; мука первого сорта $\delta_{\frac{w}{H}} = \pm 0,2\%$, $\delta_{\frac{i}{H}} = (+0,50 \div - 0,75) \%$, $S = 9,7 \text{ г}$ и $V_{az} = 0,48\%$.

6. Полученная математическая модель может быть принята в качестве исходной для автоматизации операции объемного дозирования, реализуемой роторными дозаторами муки.

7. Результаты исследования можно применить для расчета и конструирования объемных дозирующих устройств роторного типа для трудносыпучих продуктов, таких как пшеничная мука высшего и первого сортов.

8. Применение операции вибростабилизации масс доз позволяет значительно расширить область внедрения объемных дозаторов. Так, научно-исследовательская лаборатория упаковочных автоматов Каунасского политехнического института, используя результаты данной работы, разработала, изготовила и успешно внедрила объемный дозатор к автомату марки АРЖ, предназначенный для фасовки стиральных порошков.

9. Экономическая эффективность от внедрения в промышленность выполненной работы применительно к Одесскому комбинату хлебопродуктов № 1 составит 146 00,00 рублей в год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы (в соавторстве):

1. О возможной выходной точности объемного дозирования муки. - „Изв.вузов. Пищевая технология“, 1968, № 6.
2. Расфасовочный автомат. - „Изобретения, пром.образцы, товарные знаки“, 1969, Бюллетень № 19.
3. Определение оптимального режима объемного дозирования муки. - „Изв. вузов. Пищевая технология“, 1970, №5.
4. Исследования процесса объемного дозирования муки. Сб.статей аспирантов и соискателей. Серия-технические науки. Изд. МВССО Каз.ССР , Алма-Ата, 1968 (1967), вып. 6-7.
5. Автоматизация процесса расфасовки муки в мелкую тару. Сб. - „Автоматизация производственных процессов“.Тр. республиканской конференции, Алма-Ата, 1970.
6. К теории производительности машин-автоматов и автоматических линий. - „Автоматизация производственных процессов“, Львов, 1971, № 12.
7. Исследования исходных параметров для проектирования объемного дозатора муки роторного типа. Сб. „Зерно-перерабатывающая и пищевая промышленность“. Изд. МВССО Каз.ССР , Алма-Ата, 1970, вып.1.
8. Исследования операции заполнения мерных емкостей трудносыпучими продуктами с вибростабилизацией массы дозы. Сб. „Упаковочные автоматы“, Каунас, 1972.
9. Потребная длительность информационного цикла при объемном дозировании муки. Сб. „Упаковочные автоматы “ , Каунас, 1972.

Материалы диссертации доложены:

1. На XXIX, XXX, XXXI научных конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова, Одесса, 1967-1970.
2. На IУ (1971), У (1972) научно-методических конференциях Джембулского технологического института легкой и пищевой промышленности. Джембул, 1971-1972.

3. На Второй республиканской конференции по проблемам автоматизации производств Алма-Ата, 1968.

4. На расширенном заседании технического совета Министерства заготовок Каз. ССР, Алма-Ата, 1969.

5. На 1 Всесоюзной научной конференции по упаковочным автоматам. Каунас, 1972 .

6. На расширенном заседании кафедры „Технологические оборудование“, ОТИПП имени М.В.Ломоносова, 1972 .

БР 10311 Подписано к печати 3.10.72г. Объем 1,5 п.л.

Уч.-изд.л. 1,4 Газетная бумага № 2 Зак.669 Тир. 120 экз.

Лаборатория фото механической печати ОТИПП
имени М.В.Ломоносова. г.Одесса, ул.Свердлова, 112