

Автор ер.

ПЗІ МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

Аспирант В.Ф.ПЕТЬКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ
УПЛОТНЕНИЯ СЫПУЧИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИХ РАСФАСОВКЕ В МЕЛКУЮ
ТАРУ НА МАШИНАХ-АВТОМАТАХ

(№ 05.175 - Машины и аппараты пищевой промышленности)

1787

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

Одесса - 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

Аспирант В.Ф.ПЕТЬКО

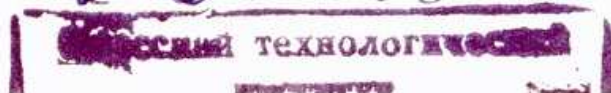
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ
УПЛОТНЕНИЯ СЫПУЧИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИХ РАСФАСОВКЕ В МЕЛКУЮ
ТАРУ НА МАШИНАХ-АВТОМАТАХ

(№ 05.175 – Машины и аппараты пищевой промышленности)

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

Одесса - 1970

к. 0. 11498



Работа выполнена в Одесском технологическом институте имени М.В.Ломоносова.

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

Официальные оппоненты:

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

Ведущее предприятие - Воронежское ЭКБ расфасовоч -
но-упаковочного оборудования.

Автореферат разослан "12" мая 1970 г.

Защита диссертации состоится "12" июня 1970 г.

на заседании Совета Одесского технологического института
имени М.В.Ломоносова, г.Одесса, ул.Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ин -
ститута.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный
печатью учреждения, просим направить в Совет института по
адресу: г.Одесса, А-39, ул.Свердлова,112.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА



Л.ЗАПОРОЖЕЦ

1. ВВЕДЕНИЕ

Партией и правительством перед пищевой промышленностью поставлены задачи по резкому увеличению выпуска продовольственных товаров в мелкой расфасовке и упаковке. Однако, выпускаемое нашей промышленностью расфасовочно-упаковочное оборудование нуждается в значительном усовершенствовании и замене более современными образцами.

Теоретическая производительность рабочих машин зависит от числа потоков w и периода рабочего цикла T_p

($\frac{\text{сек}}{\text{шт}}$)

$$P_r = \frac{w}{T_p} \frac{\text{шт}}{\text{сек}} \quad (1)$$

Уменьшение периода T_p (за исключением машин 1 класса по классификации С.И. Артоболевского) возможно путем выполнения лимитирующей операции: обособленно в отдельной позиции; в нескольких последовательно или параллельно расположенных позициях; новым более целесообразным технологическим приемом; механизмом или группой механизмов, работающих по технологической схеме более высокого класса.

Наиболее рациональным может явиться предпоследний способ, если для его реализации изыскать и исследовать возможные пути интенсификации лимитирующих операций, т.е. сокращения времени t_{max} их выполнения.

Лимитирующими на расфасовочно-упаковочных автоматах являются операции: дозирования, истечения продукта из воронки, заполнения пакета продуктом, уплотнения продукта в пакете и запечатывания пакета.

В настоящей работе исследована операция уплотнения сыпучих пищевых продуктов применительно к технологическому процессу их расфасовки в мелкую тару.

II. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей работе все незатаренные сыпучие продукты и материалы называются сыпучими средами, а затаренные - сыпучими телами

Наименование сыпучих сред в связи с их крупностью принято по классификации Г.К.Клейна и Г.Л.Зенкова.

Для оценки плотности укладки частиц и степени уплотнения сыпучих сред и тел приняты: коэффициент плотности укладки частиц $k = \frac{V_2}{V} = \frac{\rho}{\rho_2}$ и коэффициент уплотнения $\delta = \frac{k - k_H}{k_H}$, где V_2 - объем частиц сыпучего тела в объеме V , ρ и ρ_2 - объемная масса сыпучего тела и плотность вещества его частиц, k_H - значение коэффициента k до уплотнения сыпучего тела.

111. К УПЛОТНЕНИЮ СЫПУЧИХ СРЕД И ТЕЛ

1. Уплотнение сыпучих тел на расфасовочно-упаковочных автоматах

В результате отсутствия исследований операций технологического процесса расфасовки и упаковки сыпучих тел, проектирование расфасовочно-упаковочных автоматов иногда сводится к приспособливанию автоматов, предназначенных для одних сыпучих сред, к расфасовке других, отличных по физическим характеристикам. В связи с этим доводка экспериментальных образцов занимает много времени и в ряде случаев заканчивается неудачей. Примером может служить почти двадцатилетний период создания автоматов для расфасовки и упаковки муки в мелкую тару.

Анализ технологических схем ряда расфасовочно-упаковочных автоматов для сыпучих продуктов показал: операция уплотнения является лимитирующей и выполняется в 3-8 позициях в течение 3-8 сек; для сыпучих тел с различными физическими характеристиками зачастую применяются уплотняющие механизмы с одинаковыми кинематическими и конструктивно-установочными параметрами; на автоматах, изготовленных различными заводами, и предназначенных для расфасовки сходных по физическим характеристикам сыпучих сред, установлены уплотняющие механизмы с различными кинематическими и конструктивно-установочными пара -

метрами; имеется четко выраженная корреляционная связь между объемом пакетов $V_{вн}$ (см³) и массой G_a (КГ), изготовляющих эти пакеты автоматов; для автоматов 11 класса Воронежского машиностроительного завода им. В. И. Ленина

$$G_a = 1,550 V_{вн} + 4200 \quad (2)$$

при коэффициенте корреляции $\zeta_k = 0,83$.

Сравнение объемной массы ρ_r сыпучих тел в готовых пакетах, получаемых на расфасовочно-упаковочных автоматах, с объемной массой неуплотнявшихся тел ρ_n показало, что эффективность работы уплотняющих механизмов низкая, поскольку ρ_r и ρ_n незначительно отличались друг от друга.

Установлено, что увеличение средней объемной массы сыпучего тела в пакете до оптимальной величины приведет к более полному использованию объема пакетов, а это, в свою очередь, — к снижению удельного расхода упаковочных материалов, уменьшению потребной складской емкости и транспортных расходов, увеличению стойкости сыпучих тел при хранении и повышению производительности по расфасовываемой сыпучей среде при неизменном объеме пакетов, либо к уменьшению объема пакетов и снижению массы автоматов при первоначальной массе сыпучего тела в пакете!

В качестве оптимального значения средней объемной массы сыпучего тела в пакете принято такое ее значение, при котором сохраняются первоначальные его свойства. Для достижения оптимальной объемной массы сыпучего тела в пакете и уменьшения периода T_p необходимо исследование операции уплотнения.

Описанная возможность совершенствования упаковочных автоматов, получена при изучении только одной обработочной операции, количество которых на современных расфасовочно-упаковочных автоматах достигает 20 ÷ 30, в том числе 3 ÷ 4 лимитирующих.

2. Основные механические схемы сыпучей среды

Каждая из механических схем, применяемых в механике сыпучих сред, учитывает те или иные свойства этих сред и пригодна для описания одного или ряда сходных явлений.

Для исследования операции уплотнения сыпучих тел на расфасовочно-упаковочных автоматах наиболее пригодна механическая схема газонасыщенной сыпучей среды в непродуваемом состоянии с наличием объемной деформации, которая вызывает удаление порового воздуха.

3. Исследования в области уплотнения сыпучих тел

Рассмотрены теоретические и экспериментальные работы: по консолидации грунтов В.Г.Булычева, Н.М.Герсеева, Ю.К.Зарецкого, А.Ф.Лебедева, В.М.Малышева, К.Терцаги, В.Г.Тер-Мартirosяна, В.А.Флорина, Н.А.Цытовича и др.; по статике и динамике сыпучих сред: М.С.Бернштейна, Г.А.Гениева, С.С.Голушкевича, Г.Дересевича, Р.Л.Зенкова, Г.С.Зелинского, А.Г.Иммермана, А.П.Ковтуна, Н.В.Костылевой, К.И.Куценко, П.Н.Платонова, Н.К.Снитко, В.В.Сokolовского и др.; по вибротранспортированию, виброуплотнению и вибропрессованию сыпучих тел М.Н.Александровой, Д.Д.Баркана, И.И.Блехмана, Р.Н.Волика, Г.Д.Гальперина, И.Ф.Гончаревича, Н.С.Горбунова, А.Е.Десова, Г.Ю.Джанелидзе, М.П.Зубанова, В.Кролля, В.И.Лихтмана, И.Г.Шаталовой; по прессованию сыпучих тел Ф.В.Кондрашова, Н.Ф.Кунина, Р.Я.Попильского, К.А.Салазкина, Б.Д.Юрченко и др.; по исследованию физических характеристик сыпучих тел В.В.Гортинского, А.М.Калюжной, Н.Ф.Мищенко, Н.С.Розанова, И.А.Савченко, Г.А.Соо, Р.Д.Филиппова, В.И.Чайковского, Л.М.Ыйспу и др.

В результате изучения этих работ установлено: наибольшее количество теоретических и экспериментальных работ посвящено исследованию предельного равновесия и движения „несжимаемых“ сыпучих сред, фильтрационной консолидации грунтов и прессования различных пресспорошков; выполнение операции уплотнения возможно инерционным (под воздействием вибраций), силовым (под действием граничных сил) и инерционно-силовым (под воздействием вибраций и граничных сил) способами; исследования операции уплотнения сыпучих тел применительно к технологическому процессу их расфасовки в мелкую тару производились мало и несистематически, а результаты немногих из опубликованных работ недостаточны для того, чтобы стало возможным их приме -

нение в практике проектирования упаковочных автоматов для сыпучих тел; необходимо исследование операции уплотнения сыпучих тел с целью получения оптимальных технологических параметров для рационального проектирования уплотняющих механизмов упаковочных автоматов.

1У. РАБОЧАЯ ГИПОТЕЗА

Для решения задач настоящей работы предложена рабочая гипотеза, в которой рассмотрены условия формирования и способы уплотнения сыпучего тела (инерционный, силовой и инерционно-силовой).

При рассмотрении условий формирования исходили из того, что формируемое сыпучее тело является телом переменной массы. На основании теории движения тела переменной массы и уравнения компрессионных кривых для случая, когда скорость падения частиц в момент присоединения V_n и ускорение силы тяжести имеют одинаковое направление

$$k = \frac{k_0 \cdot k_{max}}{k_0 + (k_{max} - k_0) e^{-B_\varepsilon \Pi_{уп} \sqrt{2gh_3}}}, \quad (3)$$

где $B_\varepsilon = a_\varepsilon \cdot C_B$ - определяемый экспериментально коэффициент пропорциональности, учитывающий физические характеристики сыпучего тела и сопротивление воздуха движению частиц, подаваемых в емкость;

$C_B = \sqrt{1 - \frac{h_3 \rho_B \cdot \xi_B \cdot S_M}{m_i}}$ - коэффициент уменьшения скорости V_n в воздушной среде;

ρ_B и ξ_B - плотность и коэффициент сопротивления воздуха движению частицы;

S_M и m_i - миделево сечение и масса частицы;

$C_B \sqrt{2gh_3} = V_n$ - конечная скорость свободного падения частиц в вертикальной трубе для случая, когда начальная скорость $V_{n0} = 0$;

h_3 - высота падения частицы при заполнении емкости;

k_0 и k_{max} - начальное, полученное при $h_3=0$, и максимальное значение коэффициента плотности укладки частиц сыпучего тела.

Операцию уплотнения сыпучих тел можно разделить на две стадии. Первая стадия характеризуется относительным смещением частиц без существенного нарушения их формы и размеров, а также увеличением числа контактов, приходящихся на одну частицу. Эта стадия заканчивается при достижении максимальной плотности укладки частиц. Для второй стадии характерны пластические деформации частиц, либо их разрушение. Поэтому операцию уплотнения сыпучих тел в пакетах необходимо заканчивать на первой стадии.

Анализ распределения давлений в слое сыпучего тела позволил описать характер протекания операции уплотнения при инерционном, силовом и инерционно-силовом способах ее выполнения.

На основании гипотезы установлено, что на плотность укладки частиц сыпучего тела оказывает влияние:

а) физические характеристики сыпучего тела (гранулометрический состав, фрикционные свойства, влажность, аэродинамическое сопротивление и плотность вещества частиц), а также состояние внутренней поверхности емкости;

б) условия формирования сыпучего тела (удельная производительность заполнения емкости $\Pi_{уп}$, скорость падения частиц в момент присоединения V_n);

в) способ выполнения операции уплотнения (инерционный, силовой, инерционно-силовой);

г) величина, направление и время силового воздействия на сыпучее тело;

д) давление порового воздуха в слое;

е) форма и размеры емкости.

У. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ УПЛОТНЕНИЯ СЫПУЧИХ ТЕЛ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ РАСФАСОВКИ И УПАКОВКИ В МЕЛКУЮ ТАРУ

Целью работы является исследование возможности интенсификации операции уплотнения трудносыпучих пищевых продуктов при их расфасовке в мелкую тару и формулирование исходных технологических параметров для проектирования рациональных уплотняющих механизмов упаковочных автоматов.

Задачами настоящего исследования являются:

а) установление зависимости плотности укладки частиц сыпучего тела от его физических характеристик, способа выполнения операции уплотнения (инерционного, силового или инерционно-силового), времени уплотнения, высоты слоя сыпучего тела, размеров горизонтального сечения емкости, в которой производится уплотнение, и состояния ее внутренней поверхности;

б) исследование распределения плотности укладки частиц по высоте слоя сыпучего тела при различных способах его уплотнения;

в) определение оптимальных режимов и условий рационального применения инерционного, силового и инерционно-силового способов уплотнения сыпучих тел.

2. Сыпучие среды, применяемые при исследовании операции уплотнения, и методика определения их физических характеристик

При исследовании операции уплотнения сыпучих тел применительно к технологическому процессу расфасовки их в мелкую тару были использованы трудносыпучие среды: кофе натуральный молотый высшего сорта, кофе „Волжский” и мука пшеничная высшего сорта, и дополнительно, легко сыпучие: крупа манная высшего сорта, пшено и крупа гречневая (ядрица).

Определение гранулометрического состава сыпучих сред производили с помощью индикатора часового типа при минимальных размерах частиц $l_{min} > 1 \text{ мм}$, а при $l_{max} < 1 \text{ мм}$ - с помощью ситового анализатора марки ФР-1. Плотность вещества частиц ρ_z определяли с помощью пикнометрического метода.

Коэффициенты сопротивления внутреннему сдвигу f и относительному движению f_{∂} слоев сыпучего тела определяли на специально сконструированном приборе по усилию относительного сдвига площадки с наклеенным на нее слоем частиц по неподвижному слою сыпучего тела. Аналогично определяли коэффициент сопротивления внешнему сдвигу f_{δ} . Измерение сдвигающих усилий производили электротензометрическим методом. Результаты приведены в табл.1.

Таблица 1

Сыпучая среда	Влажность $W, \%$	$\rho_{2, \frac{W}{M^3}}$	$l_{cp},$ мм	$\sigma_{в},$ мм	f	Значение f_{θ}	
						по бумаге пергаменту	по орг-стеклу
Кофе натур. в.с.	$5 \pm 0,5$	1181	0,6	0,19	0,73-0,94	0,57-0,48	0,20-0,17
Кофе „Волжский“	$7,5 \pm 0,5$	1358	0,6	0,30	0,83-0,70	0,50-0,33	0,19-0,18
Мука пше-нич. в.с.	$12 \pm 0,5$	1415	0,097	0,042	0,89-0,80	0,56-0,44	0,33-0,24
Крупа манная в.с.	$12 \pm 0,5$	1415	0,58	0,15	0,80-0,68	0,54-0,45	0,27-0,16
Пшено	$12,5 \pm 0,5$	1421	1,67	0,1	0,75-0,61	-	-
Крупа гречневая	$12,0 \pm 0,5$	1370	3,1	0,1	-	-	-

Здесь $\sigma_{в}$ - среднее квадратическое отклонение размеров частиц от среднего размера l_{cp} .

3. Экспериментальные установки

Исследование инерционного способа уплотнения производили на специально разработанном и изготовленном вибростенде с эксцентрикным колебателем, позволяющим создавать гармонические колебания ведомого звена с амплитудой

$A = 0,5 \div 5,0$ мм, частотой $\Omega = 5,0 \div 40,0$ Гц и углом наклона линии качания к горизонту $\alpha = 0 \div \pi/2$ рад.

Для задания времени уплотнения t_u электрическая схема вибростенда включает реле времени марки ЭВ-234, которое может создавать выдержку времени $t_u = 0,5 \div 9,0$ сек при разбросе показаний не более 0,25 сек.

Угол наклона линии качания к горизонту α измеряли с помощью отвеса и транспортира с точностью до $\pm 0,02$ рад.

Для измерения частоты и амплитуды колебаний столбика применяли ручной виброграф ВР-1, записывающий колебания на вошеной бумажной ленте без увеличения, с двукратным и шестикратным увеличением размаха колебаний. Срабатывание отметчика времени происходит через $1,0 \pm 0,1$ сек, а погрешность измерений не превышает 4% при измерении амплитуды $A = 0,02 \div 6,00$ мм и частоты $\Omega = 5 \div 100$ Гц. Измерения производили при установившихся колебаниях вибростенда.

Исследование силового способа уплотнения производили при постоянном внешнем давлении на сыпучее тело в процессе уплотнения в интервале $p = 1000 \div 30000$ н/м², создаваемом с помощью грузов, и времени $t_p = 0,5 \div 6,0$ сек, заданном реле времени, на установке, представляющей кулачковый механизм, управляемый однооборотной муфтой.

Исследование инерционно-силового способа выполнения операции уплотнения проводили на вибростенде, а затем на установке для силового способа.

5. Форма, размеры и материал емкостей, применяемых при исследовании операций уплотнения сыпучих тел

Размеры емкостей в опытах выбирали равными внутренним размерам пакетов по ГОСТ 6420-67 (№17-№21), в которые производят автоматическую расфасовку сыпучих тел. Емкости изготовляли из листовой стали с последующей обклейкой внутренних стенок бумагой-подпергаментом по ГОСТ 1760-53 и из органического стекла без последующей обклейки стенок.

Формирование сыпучего тела в емкости в опытах по уплотнению производили при высоте $h_3 = 0,250$ м, которая является средней из наиболее часто встречающихся на расфасовочно-упаковочных автоматах.

6. Методика получения изучаемых показателей

Определение осредненных по объему объемной массы ρ_c и коэффициента K_c сыпучих тел производили вычислением после измерений их объема V и массы G .

Для определения удельного уноса частиц поровым воздухом E_y определяли массу сыпучего тела до и после уплотнения.

Определение распределения коэффициента K по глубине залегания слоя h_x производили измерением высоты h_{ci} каждого из окрашенных слоев, имеющих массу G_i , сыпучего тела, находящегося в емкости.

7. Методика математико-статистической обработки результатов экспериментального исследования

Для обеспечения точности и надежности результатов экспериментального исследования методами математической статистики производили: оценку генеральной средней размеров частиц подопытных сыпучих сред; оценку результатов экспериментального исследования операции уплотнения сыпучих тел и определение необходимой повторяемости опытов; определение возможных расхождений между двумя генеральными средними по результатам выборок малого объема; построение эмпирических зависимостей и определение тесноты корреляционной связи с помощью теоретического корреляционного отношения η_r .

У1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Влияние условий формирования сыпучего тела на плотность укладки его частиц

Исследование зависимости коэффициентов K_c и δ от условий формирования сыпучего тела производили согласно программе исследований при следующих параметрах:

- для кофе „Волжский“ $h_3 = 0,000 \div 0,550$ м и производительность заполнения $\Pi = 0,2 \div 0,5$ кг/сек, что соответствует удельной производительности $\Pi_{уд} = 57 \div 143$ кг/м²сек;

- для кофе натурального молотого высшего сорта $h_3 = 0,000 \div 0,800$ м при $\Pi = 0,40$ кг/сек.

В результате исследований получено:

а) при формировании сыпучего тела на плотность укладки его частиц влияют, главным образом, физические характеристики сыпучего тела и внутренней поверхности стенок емкости, конечная скорость падения его частиц V_n , определяемая высотой h_3 , и производительность заполнения Π ; так, изменение h_3 в исследованных интервалах приводило для кофе „Волжский“ к изменению коэффициента δ в интервале $0,00 \div 0,11$, а для кофе натурального $\delta = 0,00 \div 0,19$; при изменении производительности Π в 2,3 раза коэффициент δ достигал значения 0,03;

б) полученные экспериментально физические характеристики для частного случая заполнения пакетов кофе „Волжский“ и кофе натуральный (табл.2) позволяют использовать аналитическое выражение (3) для определения осредненного по объему сыпучего тела значения K_c коэффициента K в зависимости от условий заполнения емкости;

Таблица 2

сыпучая среда	№ пакета	K_0	K_{max}	$B_\varepsilon, \frac{\text{сек}^2 \text{ м}}{\text{кг}}$
Кофе натуральный	18	0,347	0,625	$1,034 \cdot 10^{-3}$
Кофе „Волжский“	17	0,395	0,625	$0,572 \cdot 10^{-3}$
	18	0,402		
	19	0,392		

в) изменение конечной высоты слоя сыпучего тела в пакете в интервале $h_c = 0,087 \div 0,156$ м значительно меньше влияет на величину K_c , чем изменение V_n и Π ;

г) для получения стабильных значений коэффициента K_c сыпучего тела необходимо поддерживать постоянными его физические характеристики, конечную скорость падения частиц V_n и производительность заполнения Π .

2. Инерционное уплотнение сыпучих тел

Исследование инерционного способа уплотнения согласно программе исследования проводили при $A = 0,5 \div 3,0$ мм,

$\Omega = 6,0 \div 37,0$ гц, $t_u = 0,5 \div 50,0$ сек, $\alpha = 0 \div \pi/2$ рад. Размеры емкостей соответствовали пакетам № 17, 18, 19, 21 по ГОСТ 6420-67.

В результате исследований установлено:

а) при инерционном способе уплотнения плотность укладки частиц сыпучего тела определяется:

- его физическими характеристиками (гранулометрическим составом, фрикционными свойствами, влажностью и аэродинамическим сопротивлением слоя);

- ускорением колебаний емкости, в которой находится уплотняемое сыпучее тело; при этом существует оптимальное значение $\frac{A\omega^2}{g}$, при котором плотность укладки частиц наибольшая (табл.3);

Таблица 3

Показатели	сыпучие тела				
	кофе натуральный	кофе "Волжский"	мука пшеничная	крупа манная	пшено
$\frac{A\omega^2}{g}$ при $\alpha = \pi/2$ рад	9,0 ÷ 11,0	5,7	3,5 ÷ 5,0	4,0	1,8
α_{opt} , рад	$\pi/9$	-	$\pi/3 \div \pi/4$	$5\pi/36$	-

- углом α ; для каждого сыпучего тела существует оптимальное значение угла α_{opt} , при котором плотность укладки частиц получает наибольшее значение (табл.3);

- качеством внутренней поверхности емкости; с увеличением коэффициента сопротивления внешнему сдвигу сыпучего тела коэффициенты k_c и δ увеличиваются; влиянием стенок емкости можно объяснить также то, что при $\frac{A\omega^2}{g} \gg 10$ не происходило выбрасывания частиц сыпучего тела из емкости;

- поперечными размерами емкости, в которой осуществляется инерционное уплотнение сыпучего тела; с увеличением поперечных размеров емкости происходит увеличение коэффициента k_c ;

- временем t_u инерционного уплотнения сыпучего тела; максимальное значение времени t_u , при котором происходит

стабилизация коэффициента K_c достигает 50 сек; для получения удовлетворительной степени уплотнения сыпучего тела в пакетах при фасовке на упаковочных машинах необходимо время $t_u = 4 \div 10$ сек, величина которого зависит от угла α ;

б) оптимальное значение амплитуды ускорения колебаний емкости увеличивается с уменьшением размеров, плотности вещества частиц и увеличением коэффициента f сопротивления сыпучего тела внутреннему сдвигу;

в) значение времени t_u , при котором происходит стабилизация коэффициента K_c , увеличивается с увеличением $\frac{A\omega^2}{g}$; так, при $A\omega^2 = (0,1 - 0,5)g$ $t_u = 2 \div 4$ сек и увеличивалось до $40 \div 50$ сек при возрастании $A\omega^2$ до оптимального значения;

г) оптимальное значение α_{opt} угла α зависит не только от физических характеристик сыпучего тела, но и от качества внутренней поверхности емкости; так для муки пшеничной при уплотнении в бумажном пакете $\alpha_{opt} = \pi/4 \div \pi/3$, а в пластмассовом $\alpha_{opt} = \pi/6$ рад;

д) с увеличением $\frac{A\omega^2}{g}$ выше оптимального увеличивается унос пылевидных частиц вытесняемым из пор воздухом;

е) выбор кинематических и конструктивно-установочных параметров уплотняющих механизмов при инерционном уплотнении должен определяться физическими характеристиками фасуемых сыпучих сред и качеством внутренней поверхности пакета;

ж) в случае, если машина предназначена для фасовки нескольких сыпучих сред, то следует предусматривать регулирование кинематических и конструктивно-установочных параметров уплотняющих механизмов, либо подбирать для одного автомата сыпучие среды, сходные по физическим характеристикам;

з) подтверждается высказанное в рабочей гипотезе предположение о том, что инерционное уплотнение сыпучих тел является следствием ускорения колебаний емкости, а следовательно, инерционного нагружения;

и) очевидно, что при времени $t_u = 4 \div 10$ сек операция инерционного уплотнения сыпучих тел на расфасовочно-упаковочных автоматах будет оставаться лимитирующей, реализуемой в нескольких позициях, что повышает габариты и массу автоматов; для уменьшения влияния времени t_u на Π_r упаковоч-

ных автоматов целесообразно выполнять операцию инерционного уплотнения сыпучих тел по технологической схеме машин III класса.

3. Уплотнение сыпучих тел силовым способом

Проводили исследования при постоянном внешнем давлении $p = 0 \div 30$ кн/м² и времени уплотнения $t_p = 0,5 \div 6,0$ сек.

Установлено:

а) время t_p не превышает $1 \div 2$ сек, что при $\Pi_r \leq 60$ пак/мин позволяет выполнять эту операцию за период $T_p \geq 1$ сек в $1 \div 2$ позициях вместо $3 \div 8$;

б) при внешнем давлении $p \leq 30000$ н/м² силовым способом обеспечивает меньшие K_c по сравнению с инерционным (табл.4) вследствие того, что в первом случае плотность укладки частиц сыпучего тела по высоте слоя распределена неравномерно;

в) для сохранения формы пакетов необходимо применять ограждающие стенки;

г) в результате того, что внешнее давление уравновешивается силами трения сыпучего тела о стенки емкости и давлением порового воздуха, наибольшее значение коэффициента K получено в зоне, прилегающей к уплотняющему пуансону; с удалением слоев от пуансона коэффициент K интенсивно уменьшается, приближаясь к своему первоначальному значению;

д) величина уноса частиц сыпучего тела E_y определяется количеством и относительной скоростью вытесняемого из пор воздуха;

е) при отношении диаметра отверстий к среднему размеру частиц $\frac{d_{от}}{l_{ср}} \leq 5$ величина E_y при всех значениях незначительна для муки ($E_y \leq 0,31 \frac{кг}{м^2}$), а для кофе натурального и кофе "Волжский" была равна нулю;

ж) увеличение размеров пакетов в исследованном интервале приводит к небольшому увеличению (до 3%) коэффициента K_c ;

з) изменение коэффициента сопротивления внешнему сдвигу незначительно влияет на K_c ; уменьшение f_e в 1,7 раза приводит к увеличению K_c на $3 \div 4\%$;

Таблица 4

Продукт	Влажность W, %	Плотность частиц, кг/м ³	Способ уплот- нения	α , рад	t_u , сек	t_p , сек	$\frac{A\omega^2}{g}$	P , $\frac{H}{M^2}$	ρ_c , $\frac{кг}{M^3}$	K_c
Кофе на- туральный в.с.	5 ± 0,5	1180	инерци- онный	$\frac{\pi}{9}$	4	-	9,0	-	565	0,480
			силовой	-	-	1	16730	-	506	0,430
			инерци- онно-си- ловой	$\frac{\pi}{9}$	1	1	6,6	21310	571	0,484
Кофе "Волж- ский"	7,5 ± 0,5	1360	инерцион. силовой	$\frac{\pi}{2}$	4	-	5,7	-	700	0,515
			инерцион. силовой	$\frac{\pi}{2}$	1	1	5,7	21310	697	0,512
			инерцион. силовой	0,96	4	-	4,9	-	667	0,465
Мука пшенич- ная в.с.	12 ± 0,5	1415	инерци- онно-си- ловой	$\frac{\pi}{2}$	1	1	4,9	16730	694	0,490
			инерцион. силовой	-	-	2	2360	640	0,452	
			инерцион. силовой	0,96	4	-	4,9	-	667	0,465

V. O. 11498

и) силовой способ уплотнения может быть применен на расфасовочных автоматах в том случае, если необходимо значительно сократить время выполнения операции уплотнения при небольшой степени уплотнения сыпучих тел;

к) для обеспечения наибольшей степени уплотнения сыпучих тел необходимо, чтобы распределение коэффициента K по глубине слоя было, по возможности, равномерным; наибольшей равномерности распределения K по глубине h_x можно достигнуть лишь при комбинированном (инерционно-силовом) способе уплотнения.

4. Инерционно-силовое уплотнение сыпучих тел

Исследования проводили в емкости, внутренние размеры которой соответствовали пакету № 18.

После заполнения емкости с высоты $h_3=0,250$ м сначала производили инерционное уплотнение сыпучего тела при оптимальных значениях $A\omega^2$ (табл.5), а затем силовое при различных значениях p .

Таблица 5

Наименование сыпучей среды	A , мм	Ω , гц	$\frac{A\omega^2}{g}$
Кофе натуральный в.с.	0,003	23,33	6,6
Кофе „Волжский“	0,003	31,67	5,7
Мука пшеничная в.с.	0,003	20,00	4,9

Время уплотнения инерционно-силовым способом было выбрано таким образом, чтобы при $\Pi \leq 60$ пак/мин, т.е. при $T_p \geq 1$ сек можно было в одной позиции осуществить инерционное уплотнение, а в следующей - силовое, т.е. $t_u = t_p = 1$ сек.

В результате исследований установлено:

а) применение инерционно-силового способа выполнения операции уплотнения позволит добиться оптимальной плотности укладки частиц в пакетах при одновременном уменьшении времени выполнения этой операции до 2 сек (табл.4);

б) характер зависимости коэффициента k_c от давления при инерционно-силовом способе такой же, как и при силовом;

в) распределение коэффициента k по глубине h_x является результатом наложения друг на друга распределений k по h_x при инерционном и силовом способах;

г) изменение угла наклона α незначительно влияет на коэффициент k_c ; так, при $p = 21,31 \text{ кН/м}^2$ разность между значениями k_c муки пшеничной, полученными при $\alpha = \pi/2$ рад и $\alpha = 0$, составляла 4%, а для кофе натурального не превышала 3% при $\alpha = \pi/2$ рад и $\alpha = \pi/9$ рад.

5. Зависимости для расчета плотности укладки уплотняемых сыпучих тел

Зависимость коэффициента k_c от $A\omega^2$ при инерционном способе уплотнения в течение $t_u = 4$ сек и $\alpha = \pi/2$ рад

$$k_{\pi/2} = \frac{A\omega^2 g}{\alpha_1 (A\omega^2)^2 + \beta_1 A\omega^2 g + \beta_2 g^2} + k_H, \quad (4)$$

где α_1 , β_1 и β_2 - постоянные коэффициенты (табл.6).

Таблица 6

$W, \%$	k_H	α_1	β_1	β_2	η_T
Пшеница					
$10,6 \pm 0,5$	0,546	1,705	8,895	5,315	0,73
$12,6 \pm 0,5$	0,544	0,812	9,426	6,393	0,88
$14,3 \pm 0,5$	0,546	1,223	9,082	6,002	0,90
кофе „Волжский“					
$5,0 \pm 0,5$	0,434	0,69	2,73	27,74	0,87
Кофе натуральный					
$7,5 \pm 0,5$	0,378	-0,32	11,85	30,26	0,93
Крупа манная					
$12,0 \pm 0,5$	0,503	0,58	10,53	11,56	0,82
Мука пшеничная					
$12,0 \pm 0,5$	0,403	0,085	11,42	24,83	0,95

Зависимость коэффициента k_c от угла α и величины $A\omega^2$ при $t_u = 4$ сек и $\alpha = 0 \div \pi/2$ рад.

$$k_c = k_{\pi/2} + \frac{0,5A\omega^2 g}{a_2(A\omega^2)^2 + b_3 A\omega^2 g + b_4 g^2} [a_3 + \sin(\alpha_4 \alpha + \alpha_1)], \quad (5)$$

где $a_2, a_3, a_4, b_3, b_4, \alpha_1$ - постоянные коэффициенты (табл.7).

Таблица 7

$\frac{A\omega^2}{g}$	a_2	b_3	b_4	a_3	a_4	$\alpha_1, \text{рад}$	η_T
мука пшеничная							
0÷6,64	15,24	19,67	4,15	1,00	4,63	3,73	0,77
Кофе натуральный							
0÷13,5	4,20	-5,95	54,70	1,00	2,53	0,74	0,91
Крупа манная							
0÷9,00	8,86	-39,90	224,90	-0,71	4,00	0,79	0,82

Зависимость k_c от времени уплотнения t_u

$$k_c = k_n + \frac{t}{a_5 t_u + b_5}, \quad (6)$$

где a_5 и b_5 - постоянные коэффициенты (табл.8).

Таблица 8

$\alpha, \text{рад}$	$\frac{A\omega^2}{g}$	a_5	$b_5, \text{сек}$	η_T
Кофе натуральный				
0,0	8,98	8,95	4,91	0,89
$\pi/2$	8,98	9,71	14,47	0,88
Кофе „Волжский“				
$\pi/2$	3,03	9,21	6,65	0,76

Распределение k по глубине h_x :

- при инерционном уплотнении

$$k = \frac{k_{\pi/2} (1 - e^{-\frac{B_2}{B_1} h_c}) B_1}{B_1 (1 - \frac{g^2}{B_2}) (1 - e^{-\frac{B_2}{B_1} h_c}) + g^2 h_c e^{-\frac{B_2}{B_1} h_c}}, \quad (7)$$

- при силовом уплотнении

$$k = \frac{B_1 k_H (1 - e^{-\frac{B_2 h_c}{B_1}})}{B_1 (1 - \frac{P_g}{B_2}) (1 - e^{-\frac{B_2 h_c}{B_1}}) - [B_2 U_0(p) - P_{g1} h_c] e^{-\frac{B_2 h_c}{B_1}}} \quad (8)$$

где $P_g = \rho k_{\pi/2} g$; $P_{g1} = \rho k_H g$; $B_2 = f_{\beta} \frac{P_e}{S_c} \xi_0 B_1$;
 $U_0(p)$ - смещение граничного слоя сыпучего тела;
 ξ_0 и B_1 - постоянные коэффициенты (табл.9).

Таблица 9

Сыпучая среда	№ пакета	$h_c, м$	$P_e, м$	ξ_0	$B_1, м^2$
Мука пшеничная	18	0,126	0,241	3,0	4210
	21	0,200	0,340		

Зависимость k_c от давления p

$$k_c = \frac{k_H k_c}{k_c - \alpha_6 (1 - e^{-\beta_6 p})} \quad (9)$$

где α_6 и β_6 - постоянные коэффициенты, для силового способа, приведенные в табл.10, а для инерционно-силового - в табл.11.

Таблица 10

$t_p, сек$	№ пакета	$p, кН/м^2$	$\alpha_6, м$	$\beta_6, м^2/кН$
Мука пшеничная	18	0,00÷21,31	0,0185	0,22
		0,00÷11,42	0,0300	0,22
Кофе натуральный	18	0,00÷23,60	0,0130	0,102
		0,00÷21,31	0,0115	0,100
Кофе „Волжский“	18	0,00÷21,31	0,0115	0,100

Попытка математического описания операции уплотнения на основе теории упруго-пластических деформаций, даже в весьма упрощенном варианте привела к сложным решениям.

6. Внедрение результатов экспериментального исследования в промышленность

Реализация результатов настоящего исследования возможна путем модернизации находящихся в эксплуатации или

корректирования чертежей серийно выпускаемых машин, а также созданием автомата роторного типа, реализующего бес-тарное инерционно-силовое уплотнение сыпучего тела в мер-ных емкостях с последующей принудительной подачей его в пакет.

Таблица 11

$t_u, \text{сек}$	$t_p, \text{сек}$	$\alpha, \text{рад}$	k_{H1}	$a_6, \text{м}$	$\text{м}^2/\text{кН}$	η_T
Мука пшеничная (пакет № 18)						
1	1	$\pi/2$	0,441	0,0140	0,125	0,87
Кофе натуральный (пакет № 18)						
1	1	$\pi/9$	0,448	0,0103	0,210	0,83
Кофе „Волжский“ (пакет № 18)						
1	1	$\pi/2$	0,482	0,0078	0,210	0,72

Применение инерционного уплотнения при заполнении мерных емкостей сыпучим телом с последующим силовым уплотнением его позволяет увеличить точность объемных до-заторов, которые являются наиболее производительными.

Расчетами установлено, что реализация в промышлен-ности инерционно-силового способа уплотнения сыпучих тел позволит: при сохранении первоначального объема пакетов со-кратить расход упаковочных материалов на $9 \div 23\%$ и увели-чить производительность автоматов по расфасовываемому продукту на $11 \div 30\%$; при сохранении первоначальной массы сыпучего тела сократить расход упаковочных материалов на $5 \div 15\%$ снизить массу автоматов на $1,0 \div 2,3\%$; дополни-тельно снизить массу упаковочных автоматов 11 класса за-счет сокращения числа позиций на $1 \div 4$ штуки, в которых выполняется операция уплотнения.

Уменьшение объема пакетов и увеличение объемной массы сыпучего тела в них позволит уменьшить потребную складскую площадь, транспортные расходы и увеличить стой-кость сыпучих тел при хранении.

Результаты данного исследования были переданы Во-ронезжскому ГЭКБ расфасовочно-упаковочного оборудования

и использованы при доводке опытного образца полуавтомата марки БПМ для муки. Испытания этого полуавтомата показали, что применение результатов настоящего исследования позволило увеличить массу муки в пакетах до расчетной, т.е. до 2 кг и 3 кг, вместо 1,5 и 2,5, получаемых на старом варианте этого полуавтомата.

Примерный технико-экономический расчет, проведенный применительно к расфасовке кофе натурального молотого на Одесском комбинате пищевых концентратов, показал, что внедрение результатов исследования в промышленность позволит достичь годовой экономии примерно в 25000 рублей при годовом выпуске около 2000 тонн.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании теории производительности рабочих машин-автоматов штучной продукции С.И. Артоболевского установлено:

а) теоретическая производительность рабочей машины-автомата определяется временем t_{max} , потребным для выполнения лимитирующей технологической операции;

б) влияние времени t_{max} на период T_p рабочего цикла может быть уменьшено выполнением лимитирующей операции: обособлено в отдельной позиции; в течение полного рабочего цикла машин II класса: в нескольких последовательно расположенных позициях, если такое выполнение технически возможно; разветвлением потока обрабатываемых объектов по параллельным позициям; новым, более целесообразным технологическим приемом; механизмом или группой механизмов, работающих по технологической схеме более высокого класса;

в) последний способ выполнения лимитирующей операции привел к созданию машин-автоматов с технологическими схемами, не вписывающимися в классификацию С.А. Артоболевского, которую следует дополнить еще одним классом машин, разделенным на четыре группы, для каждой из которых выведены выражения для определения периодов T_p и T_r .

2. На основании анализа технологических схем и параметров работы уплотняющих механизмов расфасовочно-упаковочных автоматов установлено:

а) одной из лимитирующих операций технологического процесса расфасовки и упаковки сыпучих тел является операция уплотнения их в пакетах;

б) имеется корреляционная связь между объемом пакетов и массой расфасовочно-упаковочных автоматов (2);

в) эффективность работы уплотняющих механизмов ряда расфасовочно-упаковочных автоматов неудовлетворительна, поскольку объемная масса расфасованных сыпучих тел после уплотнения незначительно отличается от первоначальной ее величины;

г) увеличение коэффициента k приводит к более полному использованию объема пакетов, а это, в свою очередь, к увеличению массы сыпучего тела в пакетах при сохранении их первоначального объема, либо к уменьшению объема пакетов при заданной массе дозы.

3. Сделан обзор исследований в области уплотнения сыпучих сред и тел, который позволил:

а) установить основные факторы, влияющие на операцию уплотнения сыпучих тел и сред;

б) выяснить, что исследования операции уплотнения сыпучих тел применительно к технологическому процессу их расфасовки в мелкую тару производились мало и несистематически, а результаты немногих из опубликованных работ не достаточны для применения их в практике проектирования расфасовочно-упаковочных автоматов;

в) заключить, что в целях получения оптимальных технологических параметров для рационального проектирования уплотняющих механизмов расфасовочно-упаковочных автоматов необходимо исследование операции уплотнения сыпучих тел.

4. Сделана рабочая гипотеза, на основании которой:

а) получена аналитическая зависимость (3) коэффициента K от условий формирования сыпучего тела (скорости падения частиц V_n , удельной производительности $\Pi_{уп}$ и высоты h_c);

б) описан характер инерционного, силового и инерционно-силового способов уплотнения сыпучих тел;

в) разработана программа и методика экспериментальных исследований операции уплотнения сыпучих тел.

5. Определены общепринятыми методами гранулометрический состав, плотность вещества и влажность подопытных сыпучих сред, а коэффициенты их внутреннего и внешнего сдвига на специально сконструированном для этой цели приборе по усилиям сдвига площадки с наклеенным на ее поверхность слоем частиц либо материала пакетов по неподвижному слою сыпучего тела.

6. Исследована зависимость плотности укладки частиц от условий формирования сыпучего тела в пакете. В результате этого:

а) установлено, что на плотность укладки частиц сыпучего тела при заполнении пакетов оказывают влияние: скорость V_n , обусловливаемая высотой падения h_3 , производительность заполнения Π , физические характеристики сыпучего тела и качество внутренней поверхности пакетов; изменение высоты слоя h_c в интервале $0,087 \div 0,156$ м незначительно влияет на коэффициент K_c ;

б) для получения стабильных значений коэффициента K_c сыпучего тела в пакете либо в мерной емкости объемного дозатора, что имеет существенное значение для поддержания заданной точности дозирования, необходимо поддерживать постоянными скорость V_n (либо высоту h_3), производительность Π и физические характеристики сыпучего тела;

в) полученные экспериментально (при $h_3 = 0,00 \div 0,800$ м) количественные характеристики для кофе „Волжский“ и кофе натурального высшего сорта позволяют использовать аналитическое выражение (3) для определения коэффициента K_c в зависимости от высоты h_3 (либо скорости V_n) и удельной производительности Π_{yn} (либо производительности $\Pi = \Pi_{yn} \cdot S_c$).

7. Исследование инерционного способа выполнения операции уплотнения при $A = 0,5 \div 3,0$ м, $\Omega = 5,0 \div 36,0$ гц, $\alpha = 0 \div \pi/2$ рад и $t_u = 0,5 \div 50,0$ сек позволило заключить, что:

а) плотность укладки частиц уплотняемого сыпучего тела зависит от его физических характеристик, ускорения колебаний емкости $A\omega^2$, угла α , времени t_u , площади поперечного сечения S_c и качества внутренней поверхности емкости;

б) существует оптимальное значение ускорения $A\omega^2$, при котором коэффициент K_c наибольший, величина этого ускорения возрастает с уменьшением размеров частиц и плотности их вещества, а также с увеличением коэффициента внутреннего сдвига сыпучего тела;

в) существует оптимальное значение угла наклона линии качания к горизонту α_{opt} , которое зависит не только от физических характеристик сыпучего тела, но также от качества внутренней поверхности стенок емкости;

г) для получения удовлетворительной степени уплотнения исследованных сыпучих продуктов инерционным способом требуется время $t_u = 4 \div 10$ сек, при котором операция уплотнения сыпучих тел на расфасовочно-упаковочных автоматах остается лимитирующей, реализуемой в нескольких позициях;

д) при проектировании машины, предназначенной для переналадки на расфасовку различных сыпучих сред, следует предусматривать регулирование кинематических и конструктивно-установочных параметров ее уплотняющих механизмов.

8. Проведены исследования силового способа выполнения операции уплотнения при времени $t_p = 0,5 \div 6,0$ сек и давлении $p = 0,0 \div 23,6$ кн/м².

Установлено:

а) силовой способ требует меньшего времени, чем инерционный ($t_p = 1 \div 2$ сек), что при $\Pi_r \leq 1$ пакет/сек позволяет реализовать эту операцию в 1 \div 2 позициях вместо 3 \div 8;

б) при сравнительно больших давлениях p , достигающих 23,6 кн/м², значение коэффициента K_c были значительно меньшими, чем при инерционном вследствие того, что распределение коэффициента K по глубине слоя сыпучего тела было неравномерным;

в) величина удельного уноса E_y частиц поровым воздухом при отношении диаметра отверстий перфорированного пуансона к среднему размеру части $\frac{d_{от}}{l_{cp}} \leq 5$ незначительна для муки ($E_y \leq 0,31$ кг/м²), а для кофе натурального и кофе „Волжский“ равна нулю;

г) увеличение размеров пакета и уменьшение f_0 в исследованных интервалах вызывает возрастание K_c примерно на 3 \div 4%.

Таким образом, силовой способ может быть применен на расфасовочно-упаковочных автоматах в том случае, если необходимо значительно сократить время выполнения операции уплотнения при относительно небольшом коэффициенте уплотнения δ .

9. При исследовании инерционно-силового способа вначале осуществляли инерционное уплотнение муки пшеничной высшего сорта при $\frac{A\omega^2}{g} = 4,9$, кофе натурального при $\frac{A\omega^2}{g} = 6,6$ и кофе „Волжский“ при $\frac{A\omega^2}{g} = 5,7$ и времени $t_u = 1$ сек, а затем их силовое уплотнение при внешнем давлении $p = 0 \div 21,3$ кн/м и времени $t_p = 1$ сек. Установлено, что

а) применение инерционно-силового способа уплотнения позволяет достигнуть большего, чем при инерционном и силовом способах, коэффициента плотности укладки частиц в пакетах ($K_c \approx 0,5$) при тех же внешних давлениях и ускорениях колебаний пакета;

б) при $K_c \approx 0,5$ силы сцепления между частицами кофе натурального и муки пшеничной высшего сорта возросли настолько, что требовалось небольшое инерционное воздействие на перевернутую емкость для удаления сыпучего тела из емкости, поэтому границей рационального уплотнения сыпучих тел типа муки и кофе натурального следует считать величину $K_c \approx 0,5$;

в) применение инерционно-силового способа выполнения операции уплотнения на расфасовочно-упаковочных автоматах позволит получить максимальную целесообразную плотность укладки частиц сыпучих продуктов в пакетах при одновременном уменьшении времени уплотнения до $t_u + t_p = 2$ сек.

10. В результате исследования операции уплотнения были получены эмпирические выражения (4), (5), (6) и (9), позволяющие производить расчет коэффициента K_c сыпучих тел в пакетах в зависимости от режимов инерционного, силового и инерционно-силового способов выполнения операции уплотнения. Полученные выражения позволяют определить минимальный из стандартного ряда объем пакета при заданной массе порции сыпучего тела в нем, либо вычислить режимы уплотнения при заданных массе порции продукта и

объеме пакета.

Математико-статистическая обработка результатов экспериментального исследования показала, что полученные выражения имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными.

11. Результаты данного исследования были переданы Воронежскому ГЭКБ расфасовочно-упаковочного оборудования и были использованы при проектировании расфасовочного полуавтомата для муки марки БПМ, повторные испытания которого показали, что применение рекомендованных режимов операции уплотнения позволило увеличить массу муки в пакетах до требуемой, т.е. до 2-х и 3-х кг, вместо 1,5 и 2,5 кг, полученных на предварительных испытаниях.

12. Внедрение инерционно-силового способа выполнения операции уплотнения в промышленность может привести:

а) при сохранении первоначального объема пакетов к сокращению расхода упаковочных материалов на $9 \div 23\%$ и увеличению производительности по расфасовываемому продукту на $11 \div 30\%$ за счет увеличения массы сыпучего тела в пакетах;

б) при сохранении первоначальной массы сыпучего тела в пакете - к сокращению расхода упаковочных материалов на $5 \div 15\%$ и снижению массы автоматов примерно на $1,0 \div 2,3\%$;

в) к дополнительному уменьшению массы автоматов II класса на $3 \div 13\%$ за счет сокращения числа позиций на $1 \div 4$ штуки, в которых выполняется операция уплотнения;

г) к уменьшению потребной производственной и складской площади, транспортных расходов;

д) к увеличению стойкости упаковываемого продукта при хранении вследствие уменьшения содержания порового воздуха.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СОАВТОРСТВЕ В СЛЕДУЮЩИХ СТАТЬЯХ:

1. О производительности и классификации упаковочных автоматов. Сб. „Автоматизация производственных процессов“, вып.2, Изд. Львовского ун-та, 1965.

2. Пути совершенствования упаковочных автоматов для сыпучих тел. - Сб. „Автоматизация производственных процессов“, вып.6, Изд. Львовского ун-та, 1968.

3. Исследование операции заполнения пакетов сыпучими продуктами. - Изд. ВУЗов. Пищевая технология, 1968, № 3.

4. О возможной выходной точности объемного дозирования муки. - Изд. ВУЗов. Пищевая технология, 1968, № 6.

5. Исследование операции уплотнения сыпучих продуктов при расфасовке их в мелкую тару. - Изд. ВУЗов. Пищевая технология, 1969, № 3.

6. Изменение плотности укладки частиц в зависимости от условий формирования сыпучих материалов. Современные проблемы механики сыпучих материалов. ЦИНТИ Госкомзага СССР. М., 1969.

7. Об уменьшении динамических усилий в приводе непрерывного движения расфасовочно-упаковочных автоматов. - Изд. ВУЗов. Пищевая технология, 1964, № 4.

8. Расфасовочный автомат. - Изобретения, пром. образцы, товарные знаки, 1969, № 19.

Материалы диссертации были доложены:

1. На XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX и XXX научных конференциях Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова.
2. На заседании технического совета Воронежского ЭКБ расфасовочно-упаковочного оборудования.
3. На Республиканской научно-технической конференции Литовской ССР, проходившей в 1969 г. при Каунасском политехническом институте.