

661  
Р99  
66.062

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С.М.КИРОВА

На правах рукописи

РЯЗАНОВА Ольга Слеговна

ПРОЦЕСС НЕПРЕРЫВНОГО СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ СЛИЗЧИХ  
МАТЕРИАЛОВ И ЕГО АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

05.17.08 - Процессы и аппараты химической  
технологии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1990

Работа выполнена в Гижском техническом университете.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
ДРЕМЕР И.О.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
АХМАДИЕВ Ф.Г.  
кандидат технических наук, доцент  
ГУЛЯЕВ В.Н.

Ведущее предприятие: Научно-производственное объединение  
"БИОЛАР" (г.Олайне, Латвийская  
Республика)

Защита диссертации состоится *"11" декабря* 1990 г.  
на заседании специализированного совета 056.01.03 по присуждению  
ученой степени кандидата наук в Белорусском ордена Трудового  
Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова  
(220030, г.Минск, ул.Свердлова, 13а)

О диссертации можно ознакомиться в библиотеке Белорус-  
ского технологического института им. С.М.Кирова.

Автореферат разослан *"8" ноября* 1990 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
к.т.н., с.н.с.

В.Д.Дзюса

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сырьем, промежуточной или конечной продукцией многих предприятий являются сыпучие материалы. Химическая, металлургическая, рудная, строительная, зерноперерабатывающая и многие другие отрасли заняты операциями с сыпучими материалами. Среди этих операций, во многих случаях, основой производственного процесса является смешение сыпучих материалов. Однако, несмотря на широкое распространение, этот процесс и в настоящее время остается недостаточно изученным. Трудность определения его параметров, отсутствие единой методики определения качества смеси, незначительные успехи в области математического моделирования процесса смешения сыпучих материалов являются причиной того, что разработчики смесительного оборудования опираются главным образом на практические данные.

Примером отрасли, полностью занятой операциями с сыпучими материалами и поэтому более других нуждающейся в развитии науки о механизмах процессов их переработки, является зерноперерабатывающая промышленность, в частности, производство комбикормов и муки.

Ввиду того, что комбикормовая промышленность является сравнительно молодой отраслью, не имеющей достаточных традиций в области исследования процесса смесеприготовления, а актуальность настоящей разработки для народного хозяйства требует всего объема теоретических и практических знаний, накопленных исследованиями в области химической технологии, решение задачи создания узлов смесеприготовления для сыпучих компонентов комбикормов и муки было поручено кафедре общей химической технологии Рижского технического университета в рамках проведения общесоюзной научно-технической программы 038. Пищевые продукты ИТП 0.42.01 задания 05 и 06, утвержденной постановлением ГКНТ СССР № 555 от 30.10.85 г.

Все возрастающие потребности животноводства в комбикормах и прогноз резкого роста их производства ставят сложнейшую задачу увеличения выпуска комбикормов, решение которой возможно только при переходе предприятий на непрерывные технологии на

базе принципиально новых интенсивных технологий, нового дозирующего и смесительного оборудования высокой производительности.

В настоящее время необходимое весовое дозирующее оборудование непрерывного действия для технологических схем производства комбикормов разработано и выпускается серийно, что позволило разработать прогрессивные новые технологии, в которых, однако, не решена вторая часть проблемы - узел смесеприготовления. Таким образом, наращивание мощностей комбикормовых предприятий сдерживается отсутствием смесительного оборудования непрерывного действия большой единичной мощности.

В качестве искомого экономичного и высокопроизводительного смесительного оборудования могут быть использованы гравитационные смесители, ранее применяемые в технологических схемах для предварительного смешения компонентов комбикормов. Известные гравитационные смесители не могут обеспечить качества смешения, требуемого для готовой продукции. В то же время, результаты исследований и промышленной эксплуатации позволили сделать вывод о допустимости расширения функциональных возможностей оборудования данного типа - создания на их основе смесителей готовой продукции - выходных.

Особый интерес представляет также использование гравитационных устройств предварительного смешения при переработке мелкодисперсных материалов, например, при витаминизации муки, где возможно создание на их основе совмещенных гравитационно-механических смесителей.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является установление закономерностей процесса смесеприготовления в поле массовых сил и создание выходного гравитационного смесителя непрерывного действия для сыпучих компонентов комбикормов, а также создание совмещенного гравитационно-механического смесителя непрерывного действия для витаминизации муки.

В соответствии с поставленной целью выдвинуты следующие задачи:

- обоснование, выбор конструкции и расчет выходного гра-

витационного смесителя непрерывного действия для сыпучих компонентов комбикормов;

- обоснование, выбор конструкции и расчет совмещенного гравитационно-механического смесителя непрерывного действия для витаминизации муки;

- создание математических моделей процесса смешения сыпучих материалов в гравитационном выходном и совмещенном смесителях;

- экспериментальные исследования работы гравитационного выходного и совмещенного смесителей;

- разработка, проведение испытаний и внедрение промышленных конструкций разработанных смесителей и технологии с их использованием.

Научная новизна:

- разработана двухпоточная ячеечная модель, позволяющая учитывать и моделировать как поперечное, так и продольное перемешивание в смесителях непрерывного действия;

- обосновано теоретически и подтверждено экспериментально преобладающее влияние на качество смеси эффектов поперечного перемешивания;

- для модели поперечного перемешивания в гравитационном смесителе предложен метод полумпирического расчета матриц перехода, основанный на экспериментальном определении дисперсий распределения по осям  $x$  и  $y$  ( $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ ) для смесительных элементов в условиях граничных эффектов;

- получены новые экспериментальные матрицы перехода, характеризующие исследуемые типы смесителей.

Практическая ценность. Предложены новые конструкции гравитационного выходного смесителя сыпучих компонентов комбикормов, защищенные двумя авторскими свидетельствами на изобретение СССР и новая конструкция гравитационно-механического смесителя для витаминизации муки, смесительные элементы которого также защищены авторским свидетельством на изобретение СССР. Для реконструкции комбикормовых предприятий разработаны новые технологические схемы, защищенные двумя авторскими свидетельствами на изобретение СССР. С использованием разработанной технологии объемно-весового дозирования-смешения проведен первый этап реконструкции комбикормового цеха Тукумского меххозийс-

твенного объединения "Страуме" (Латвия). Для осуществления реконструкции с использованием вышеуказанной технологии разработана конструкторская документация и изготовлены выходные гравитационные смесители производительностью 30, 60, 120 т/ч. Смесители прошли производственные испытания и приняты в постоянную эксплуатацию на Валмиерском комбинате хлебопродуктов (Латвия) и Гатчинском комбикормовом заводе (Ленинградская обл.).

Для линии витаминизации муки разработана конструкторская документация и изготовлены совмещенные гравитационно-механические смесители производительностью 10 т/ч. Совмещенные смесители прошли производственные испытания и приняты в постоянную эксплуатацию на Резекненском и Добельском комбинатах хлебопродуктов (Латвия). Экономический эффект от использования разработанных смесителей составляет в год: 61,12 тыс. руб. - на Резекненском КХП; 61,14 тыс.руб. - на Добельском КХП; 110,0 тыс.руб. - на Валмиерском КХП; 210,0 тыс.руб. - на Гатчинском КХЗ. Экономический эффект от применения разработанной технологии - 322 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Результаты работы обсуждены на Международном X (юбилейном) конгрессе по инженерной химии, проектированию химического оборудования и автоматизации "ХИСА-90" (Прага, 1990 г.), на Всесоюзной научной конференции "Методы кибернетики химико-технологических процессов" (Москва, 1989 г.), на Всесоюзной конференции "Химтехника-89" (Ярославль), на Всесоюзной конференции по подведению итогов на лучшую научную работу студента (Москва, 1988 г.), на III конференции молодых ученых химико-технологического факультета РПИ (Рига, 1989 г.) и двух Республиканских научно-технических семинарах (Рига, 1988 и 1989 гг.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 5 статей, получено 1 авторское свидетельство и 4 положительных решения на изобретения.

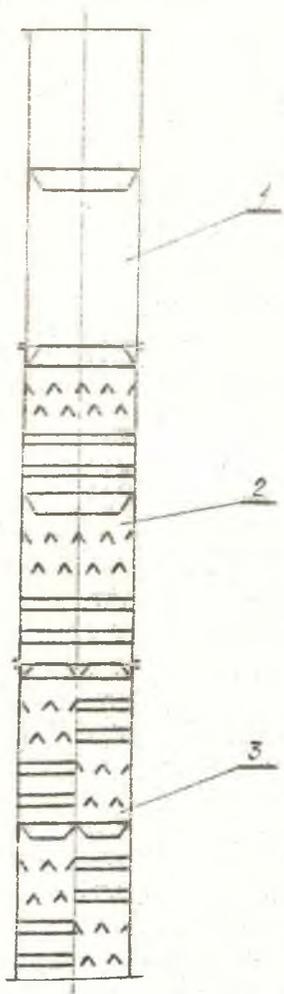
Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 267 страницах машинописного текста, включая 46 рисунков, 9 таблиц, 17 приложений. Список использованной литературы включает 133 наименования советских и зарубежных авторов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор и обоснование конструкций разрабатываемого смесительного оборудования непрерывного действия для сыпучих компонентов комбикормов и витаминизации муки, описанный во второй главе, осуществлен на основании материалов анализа конструкций, технико-экономических показателей отечественного и зарубежного смесительного оборудования и тенденций развития данного вида техники, представленного в первой главе диссертации. Для гравитационного выходного смесителя выбрана конструкция, включающая набор секций, выполненных с различной плотностью установки смесительных элементов и разгонным участком (рис. 1). Предложенная конструкция защищена авторским свидетельством на изобретение СССР (положительное решение № 4701862/31-26 (077731)). Для смесителя, предназначенного для витаминизации муки, выбрана конструкция, представляющая совмещенный гравитационно-механический смеситель непрерывного действия, состоящий из механического двухвального смесителя и дополнительно распределительного устройства на входе - гравитационного смесителя. Механический смеситель представляет горизонтальный червячно-лопастной смеситель, имеющий два параллельных, вращающихся навстречу друг другу, рабочих вала, с закрепленными на них смесительными элементами (лопатками и витками шнека). Разработанный гравитационный предсмеситель содержит направляющий и распределяющий элементы в виде полых усеченных пирамид, вложенных одна в другую, и ударно-распылительные решетки, расположенные в шахматном порядке (рис. 2).

С целью выбора зависимостей, позволяющих осуществлять расчет режимов работы, основных конструктивных размеров аппаратов и качества получаемой смеси были проведены теоретические и экспериментальные исследования. Теоретические исследования включают анализ существующих методов расчета гравитационных смесителей (глава 2) и разработку математических моделей процесса смешения в гравитационном выходном и совмещенном гравитационно-механическом смесителях (глава 3). Экспериментальные исследования процесса смешения и эффективности

### Выходной гравитационный смеситель



- 1 - разгонная секция;
- 2 - основная секция;
- 3 - наборная секция

Рис. I

работы разработанного смесительного оборудования (главы 4,5) проводились на двух- и многокомпонентных смесях на экспериментально-стендовой установке, лабораторном макете и в производственных условиях.

В качестве критерия оценки качества смешения принят коэффициент неоднородности (вариации)  $V_c$ , определяемый по формуле:

$$V_c = \frac{100S}{\bar{C}} = \frac{100}{\bar{C}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \% (1)$$

где  $S$  - среднее квадратичное отклонение содержания ключевого компонента, %;  $\bar{C}$  - среднее арифметическое значение ключевого компонента в пробах, %;  $C_i$  - значение концентрации ключевого компонента в  $i$ -той пробе, %;  $n$  - число проанализированных проб.

Пробы отбирались на выходе из смесителей в соответствии с требованиями ГОСТ 13496.0-70. Расчет числа проб и минимально допустимой массы пробы базировался на известной в математической статистике задаче оценки параметров распределения случайной величины.

При проведении исследований процесса смешения и эффективности работы смесителей на лабораторном макете и экспериментально-стендовой установке в качестве ключевого компонента были приняты окрашенные зерна основного зернового компонента. Концентрация ключевого компонента определялась гравиметрически согласно ГОСТ 13586.2-81.

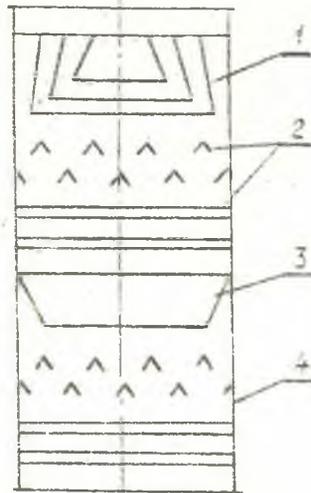
При проведении исследования работы выходных гравитационных смесителей в производственных условиях в качестве ключевого компонента принят хлорид натрия, определение содержания которого в пробе проводилось согласно ГОСТ 13496.1-74.

Оценка качества смешения, проводимая при производственных испытаниях совмещенных смесителей для витаминизации муки, осуществлялась определением массовой доли витаминов согласно ГОСТ 8.505-84.

Матрицы перехода были получены в результате экспериментов на лабораторном макете, при этом распределение материала при прохождении через исследуемые смесительные элементы определялось гравиметрически.

Для проверки адекватности разработанных математических моделей осуществлялось сопоставление результатов экспериментов и данных, полученных расчетным путем. Расчеты проводились на микро ЭВМ "Электроника ДЭ-28" по стандартным и оригинальным программам.

### Конструкция гравитационного предсмесителя



1 - набор распределяющих пирамид; 2 - решетки с рассекателями; 3 - направляющая пирамида; 4 - корпус.

Рис. 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛА СМЕШЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Анализ существующих методов математического описания процесса смешения сыпучих материалов, приведенный в третьей главе, показал основной недостаток моделей, описывающих продольное перемешивание, состоящий в том, что они не характеризуют изменения взаимного распределения компонентов в объеме (пространстве) смешиваемого материала. В связи с этим нами была разработана двухпоточная ячеечная модель, позволяющая демонстрировать взаимодействие эффектов поперечного и продольного перемешивания (рис. 3).

Двухпоточная ячеечная модель

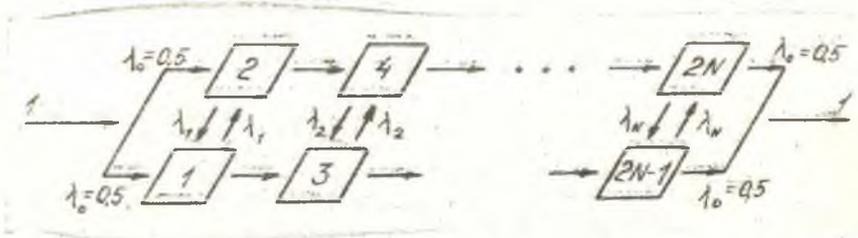


Рис. 3

Модель состоит из  $2 \times N$  ячеек идеального перемешивания, взаимно соединенных потоками, т.е. имеем две параллельных ветви (потока) производительностью 0,5 и состоящие из  $N$  ячеек каждая. Поперечное перемешивание между ветвями моделируют потоки обмена с интенсивностью обмена  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ). Все потоки обмена приняты равными, т.е.  $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda \geq 0$ . При  $\lambda = 0$  поперечного обмена нет и модель деформируется до двух параллельно включенных обыкновенных ячеечных моделей.

Анализ сети проводился методом "расчесывания", предложенным Буффамом с сотрудниками, позволяющим любую сеть свести к гребневидному виду. Такая сеть состоит из ветвей с количеством ячеек  $M = 1, 2, \dots, \infty$ . Каждую ветвь характеризует  $p_M$  - вероятность выхода частицы из ветви длиной  $M$ :

$$P_M = \frac{C_{M-1}^{M-N} \lambda^{M-N}}{\sum_{L=N}^{\infty} C_{L-1}^{M-1} \lambda^{L-N}} \quad (2)$$

где  $C_{M-1}^{M-N}$  - биномиальный коэффициент (количество различных путей при заданных  $M$  и  $N$ ).

Согласно Буффама выходная кривая имеет вид:

$$c(t) = e^{-\frac{t}{\tau_0}} \sum_{M=N}^{\infty} \frac{P_M t^{M-1}}{\tau_0^M (M-1)!} \quad (3)$$

где  $t$  - время пребывания во всех ячейках;  $\tau_0$  - среднее время пребывания в одной ячейке.

Выражение (3) совместно с (2) являются искомой математической моделью, по ним была составлена программа *TWOSTREAM* для расчета выходных кривых. Полученные в результате численного моделирования при различных значениях  $N$  и  $\lambda$  ( $\tau_0 = \text{const} = 1$ ) выходные кривые были аппроксимированы обыкновенной ячеечной моделью. Для этого использовалась программа *CELL*, распечатывающая таблицу ординат экспериментальной выходной кривой двухпоточной ячеечной модели и рассчитанной по оценкам ее параметров выходной кривой обыкновенной ячеечной модели. Результаты аппроксимации схем  $2 \times 2$  и  $2 \times 4$  (рис. 4) показали, что характер аппроксимирующих параметров  $T_{оп}$  и  $N_{оп}$  с ростом  $\lambda$  не меняется монотонно и одна комбинация  $T_{оп}$  и  $N_{оп}$  может соответствовать двум разным  $\lambda$ , то есть пара  $T_{оп}$  и  $N_{оп}$  поперечное перемешивание характеризуют неоднозначно.

Таким образом, кривые РВП и модели продольного перемешивания, в силу того, что в них заложена гипотеза о полном перемешивании в поперечном направлении, не могут служить основой для описания изменения равномерности распределения компонентов в выходном потоке. В процессе смешеприготовления РВП могут быть использованы для описания сглаживания колебаний расхода компонентов, которые могут генерироваться, например, дозаторами.

Учитывая необходимость отказа от широко распространенных

Результаты аппроксимации схем 2x2 и 2x4

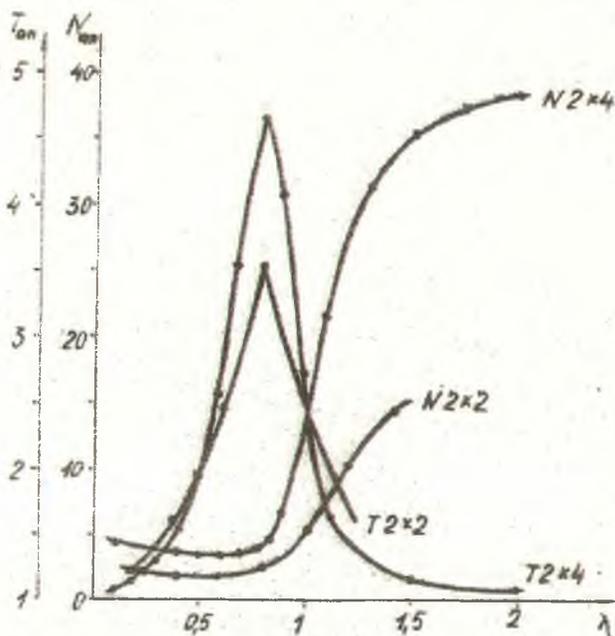


Рис. 4

моделей продольного перемешивания для моделирования процесса смешения сыпучих материалов в гравитационном смесителе, мы остановились на модели поперечного перемешивания, имеющей вид:

$$\tilde{K}_N = \tilde{K}_0 \prod_{n=1}^N P_n, \quad (4)$$

где  $\tilde{K}_0$  - входной вектор;  $n$  - количество ступеней смешения;  $P_n$  - матрица перехода, соответствующая различным ступеням смешения.

Для практического использования указанной математической модели нами предложен метод полуэмпирического расчета матриц перехода гравитационных смесителей, основанный на экспериментальном определении дисперсий распределения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  для смесительных элементов в условиях отсутствия граничных эффектов.

Понятие гипотезы о нормальности распределения вещества

на выходе из гравитационного смесителя позволило разработать алгоритм расчета матрицы перехода  $P$ , компоненты которой  $P_{ij}$  представляют вероятность перехода частицы при случайном блуждении в ячейку номер  $j$ , если на входе в ступень смешения она находилась в ячейке номер  $i$ :

1. На основе экспериментов, описанных в четвертой главе, определяются дисперсии распределения по осям  $X$  и  $Y$  - соответственно  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ . Выражение для плотности распределения материала на выходе из ступени смешения имеет вид:

$$f_0(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-y_i)^2}{2\sigma_y^2}\right). \quad (5)$$

Для различных  $i$  это распределение отличается только координатой центра входной ячейки  $x_i$  и  $y_i$ .

2. Доля вещества (или нормированная концентрация)  $G_j$ , попадающего в  $j$ -ую ячейку на выходе из ступени смешения определяется двойным интегрированием по  $X$  и  $Y$  формулы (5).

В реальных смесителях взаимодействие частиц со стенками аппарата (отскок) приводит к изменению плотности распределения. Вместо  $f_0(x, y)$  - плотности распределения без учета граничных эффектов (рис. 5), получаем кривую  $f(x, y)$ , которая является суммой ординат  $f_0(x, y)$  и отраженных участков  $f_1(x, y)$ ,  $f_2(x, y)$  и т.д. в интервале  $X_{min}$  и  $X_{max}$ :

$$f(x, y) = f_0(x, y) + \sum_i f_i(x, y). \quad (6)$$

Процесс отражения и суммирования представляется в виде соответствующей трансформации координат, где  $X$  - исходная координатная ось, а  $X'$  - преобразованная, т.е. соответствующая размерам смесителя (полученная складыванием оси  $X$  гармошкой, участками длиной  $L$ ):

$$X = \begin{cases} nL + \frac{X}{K|n|}, & \text{при } n = 0, 2, 4, \dots \\ (n+1)L + \frac{X}{K|n|}, & \text{при } n = 1, 3, 5, \dots \end{cases} \quad (7)$$

где  $K$  - коэффициент восстановления скорости частиц при отскоке от стенки аппарата;  $n$  - номер складки.

Отражение плотности распределения при учете граничных эффектов

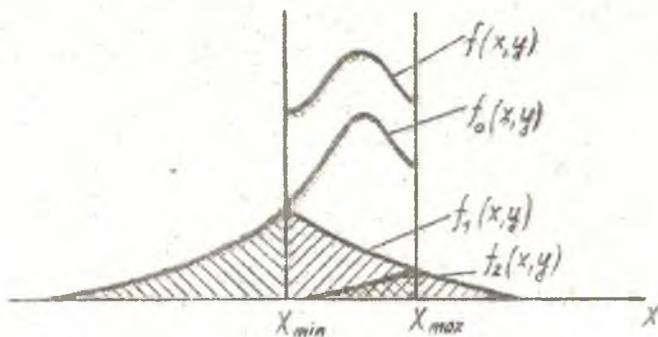


Рис. 5

По предлагаемой методике составлена программа расчета матрицы перехода по известным дисперсиям неограниченного распределения и рассчитаны матрицы перехода для различных материалов и основных смесительных элементов разработанной конструкции гравитационного смесителя.

В процессе исследования продольного перемешивания в двухвальном смесителе был сделан вывод, что с этой точки зрения процесс смешения сыпучих материалов описывается однопоточной ячеечной моделью с дробным количеством ячеек. Исследования, проведенные нами ранее, показали, что продольное перемешивание в гравитационном смесителе также можно описать ячеечной моделью с дробным количеством ячеек.

Таким образом мы имеем следующие передаточные функции:  
 - для гравитационного смесителя:

$$W_1(p) = \frac{1}{\left(\frac{\tau_1 p}{n_1} + 1\right)^{n_1}} ; \quad (8)$$

- для двухвального смесителя:

$$W_2(p) = \frac{1}{\left(\frac{\tau_2 p}{n_2} + 1\right)^{n_2}} ; \quad (9)$$

- для совмещенного смесителя (при последовательно соединенных гравитационном и механическом):

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p). \quad (10)$$

Раскладывая выражение (10) в степенной ряд по  $p$  с коэффициентами, равными моментам выходной кривой ячеечной модели, получаем результирующую выходную кривую, представляющую суперпозицию многих слагаемых, включающих произведения моментов кривых  $C_1(t)$  и  $C_2(t)$  с весовыми коэффициентами в виде биномиальных коэффициентов. Поэтому результирующие  $C(t)$  кривые с точностью, зависящей только от количества полученных в эксперименте точек, могут быть описаны ячеечной моделью с

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_1 + \tau_2 \\ n &= \frac{\tau_1 + \tau_2}{\frac{\tau_1}{n_1} + \frac{\tau_2}{n_2} + 2\tau_1\tau_2} \end{aligned} \quad (11)$$

Такой способ описания можно использовать для рекомендации характеристик дозатора, исследования сглаживания флуктуаций и т.п.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЕЙ

Исследования поперечного перемешивания в гравитационном смесителе проводились на лабораторном макете. Были получены экспериментальные матрицы перехода для мелкозернистых материалов (мука пшеничная, крупа манная) с диаметром частиц 0,1-0,5 мм. Для разработки расчетных методов оценки матриц перехода были проведены исследования по определению распределения сыпучего материала на выходе из гравитационного смесителя без влияния граничных эффектов на стенках аппарата. В качестве материала использовались зерна кукурузы ( $d \approx 8$  мм), гранулы полиэтилена ( $d \approx 2-3$  мм - нерегулярные цилиндрики), мука пшеничная ( $d \approx 0,1$  мм). Результаты исследований показали, что для крупнодисперсных материалов проверка адекватности расчетных и экспериментальных матриц, проводимая по F-критерию, дает положительные результаты при уровне достоверности 95 %.

Исследования работы совмещенного гравитационно-механического смесителя производительностью 10 т/ч проводились на экспериментально-стендовой установке на зерновых смесях. Исследовалась работа механического смесителя отдельно и совместно с двумя типами конструкции гравитационного предсмесителя: I - основной смесительный элемент - смежные решетки с рассекателями, расположенные в шахматном порядке; тип 2 - решетки дополнены новым смесительным элементом - набором усеченных пирамид. Испытания проводились в двух режимах - 50 и 90 % НПП (наибольший предел производительности) при числе оборотов 400 и 500 об/мин. В результате проведенных исследований установлено, что наилучшими качественными показателями (по коэффициенту вариации) обладает конструкция совмещенного гравитационно-механического смесителя тип 2, что обеспечивает качество смешения во всем диапазоне 9,6-14,4 %.

Также экспериментально проверено утверждение о возможности описания продольного перемешивания в совмещенном смесителе обыкновенной ячеечной моделью. Проведенные исследования убедительно показали, что модели продольного перемешивания не позволяют интерпретировать результаты по качеству смеси, так как параметры подобранной ячеечной модели говорят об ухудшении качества смешения в совмещенном смесителе по сравнению с двухвальным, однако на практике  $V_c$  для совмещенного смесителя значительно ниже.

Полученная информация о продольном перемешивании в дальнейшем использовалась при разработке схемы смесеприготовления.

Для исследования кинетики поперечного перемешивания в гравитационном смесителе была составлена программа, моделирующая прохождение вещества через последовательно расположенные друг под другом смесительные элементы, характеризующиеся матрицей перехода  $P$ , при разных входных векторах. Результаты моделирования (рис. 6) показывают изменение коэффициента вариации  $V_i/V_0$  в процентах от количества пройденных ступеней  $j$ . Выходные кривые (расчетные) правильно отражают характер смесеобразования - показывают эффект сегрегации и выход на равновесное состояние.

На основании проведенных экспериментальных исследований и численного моделирования предложены рекомендации по интенсификации

Кинетика изменения  $V_c$

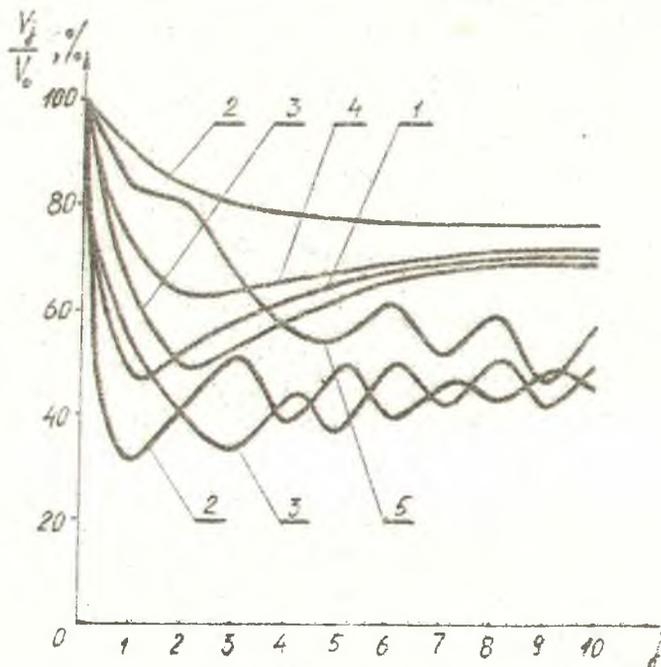


Рис. 6

фикации поперечного перемешивания в гравитационных смесителях: уменьшение размеров смесительных элементов (уголков); более частая их установка; секционирование поперечного сечения; использование разгонных участков. Указанные технические решения были использованы нами в авторских свидетельствах (положительные решения на заявки 4701382/31-26 (077731) и 4752828/31-26 (130226)) и получили промышленную реализацию.

### ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Примеры внедрения разработанных нами новой техники и технологии описаны в пятой главе. Выходные гравитационные смесители непрерывного действия производительностью от 60 до 120 т/ч нашли промышленное применение на комбикормовых предприятиях при реконструкции типовых заводов мощностью от 200 до 630 т/сутки.

Указанные смесители прошли производственные испытания и приняты в постоянную эксплуатацию на Валмиерском комбинате хлебопродуктов (Латвия) и Гатчинском комбикормовом заводе (Ленинградская обл.).

Совмещенные гравитационно-механические смесители производительностью 10 т/ч прошли производственные испытания и приняты в постоянную эксплуатацию в линиях витаминизации муки на Резекненском и Добельском комбинатах хлебопродуктов (Латвия). В результате производственных испытаний установлено, что качество получаемой продукции полностью удовлетворяет основным техническим требованиям.

Разработанная нами технология объемно-весового дозирования-смешения, включающая выходной гравитационный смеситель, внедрена и принята Госкомиссией на Тукумском межхозяйственном объединении "Страуме". Установлено, что применение технологии объемно-весового дозирования-смешения позволяет осуществлять реконструкцию как государственных, так и межхозяйственных комбикормовых заводов с резким уменьшением стоимости реконструкции и сроков ее осуществления.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция гравитационного выходного смесителя непрерывного действия для сыпучих компонентов (комбикормов), защищенная авторскими свидетельствами на изобретение СССР (положительные решения на заявки №№ 4701382/31-26 (077731), 4752828/31-26 (130228));

2. Разработана новая конструкция совмещенного гравитационно-механического смесителя для витаминизации муки, смесительные элементы которого защищены авторским свидетельством на изобретение СССР (положительное решение на заявку № 4756621/31-16 (133548)).

3. Разработаны новые технологии для реконструкции комбикормовых предприятий, защищенные авторскими свидетельствами на изобретение СССР (А.с. СССР № 1496756 и положительное решение на заявку № 4660073/30-15 (034848)).

4. Разработана двухпоточная леечная модель, позволяющая

учитывать как поперечное, так и продольное перемешивание в совмещенном смесителе.

5. Для модели поперечного перемешивания в гравитационном смесителе предложен метод полуэмпирического расчета матриц перехода, основанный на экспериментальном определении дисперсии распределения по осям  $x$  и  $y$  ( $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ ) для смесительных элементов в условиях отсутствия граничных эффектов.

Матрицы перехода для крупнозернистых материалов, определенные традиционным способом и полученные по предлагаемой методике, адекватны при уровне достоверности 95 %.

6. Экспериментальные исследования совмещенного смесителя подтвердили правильность выбранных конструкций гравитационного и механического смесителей и принцип их совмещения.

7. Выходные гравитационные смесители производительностью 50 и 120 т/ч прошли производственные испытания и приняты в постоянную эксплуатацию на Балвийском КХП (Латвия) и Гатчинском ККЗ (Ленинградская обл.).

8. Совмещенные гравитационно-механические смесители производительностью 10 т/ч для витаминизации муки прошли производственные испытания и приняты в постоянную эксплуатацию на Резекненском и Добельском КХП (Латвия).

9. С применением разработанной технологии объемно-весаго дозирования-смешения, включающей выходной гравитационный смеситель, проведена реконструкция комбикормового цеха Тукумского межхозяйственного объединения "Страуме".

10. Годовой экономический эффект от внедрения техники и технологии, базирующихся на теоретических выводах данной работы составит: для Гатчинского ККЗ - 210 тыс. рублей; для Валвийского КХП - 110 тыс. рублей; для Резекненского КХП - 61,12 тыс. рублей; для Добельского КХП - 61,14 тыс. рублей; для Тукумского МХО "Страуме" - 322 тыс. рублей.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Результаты исследования гравитационного смесителя // И.О.Дрейер, Г.Е.Галкина, О.О.Рязанова, Г.Е.Голубчикова // Мас-сообмен в химической технологии: Сб. науч. тр. - Рига: РПИ, 1986. - С. 5-11.

2. Моделирование процесса смешивания в двухвальном смесителе непрерывного действия / О.О.Рязанова, И.О.Дрейер, Л.А.Осипов, Г.Е.Голубчикова // Массообмен в химической технологии: Сб. науч. тр. - Рига: РПИ, 1988. - С. II-20.

3. Дрейер И.О., Голубчикова Г.Е., Рязанова О.О. Поперечное перемешивание - определяющий механизм при моделировании смесителей непрерывного действия для сыпучих материалов // Методы кибернетики химико-технологических процессов: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. 14-16 июня 1989 г. - М., 1989. - С. 59.

4. Рязанова О.О. Трансформация эффектов поперечного перемешивания в эффект продольного перемешивания: Численная модель // III конф. молодых ученых РПИ: Тез. докл. - Рига, 1989. - С. 149.

5. Дрейер И.О., Голубчикова Г.Е., Рязанова О.О. Методика расчета гравитационных смесителей // Химтехника-89: Тез. докл. Всесоюз. конф. 18-21 сентября 1989 г. - Ярославль, 1989. - С.200.

6. Рязанова О.О., Дрейер И.О., Голубчикова Г.Е. Новая техника и технология непрерывного дозирования компонентов комбикормов на предприятиях Агропрома // Химтехника-89: Тез. докл. Всесоюз. конф. 18-21 сентября 1989 г. - Ярославль, 1989. - С. 66.

7. Поточная линия приготовления комбикормов: А.с. 1496753 СССР, МКИ<sup>4</sup> А 23 17/00 / И.О.Дрейер, О.О.Рязанова, Г.Е.Голубчикова, Я.Я.Авотиньш (СССР). - 4 с.: ил.

8. Поточная линия производства комбикормов: положит. решение на заявку № 4660073/30-15 (034848) от 05.03.90 г., МКИ<sup>5</sup> В А28 17/00 / И.О.Дрейер, О.О.Рязанова, Г.Е.Голубчикова (СССР).

9. Гравитационный смеситель сыпучих материалов: положит. решение на заявку № 4701382/31-26 (077731) от 15.01.90 г., МКИ<sup>5</sup> В01 3/18, В29В 7/78 / И.О.Дрейер, О.О.Рязанова, Г.Е.Голубчикова и др. (СССР).

10. Способ приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов: положит. решение на заявку № 4752828/31-26 (130228) от 24.04.90 г., МКИ<sup>5</sup> В01 3/13 / Г.Е.Голубчикова, И.О.Дрейер, О.О.Рязанова (СССР).

11. Гравитационный смеситель: положит. решение на заявку № 4755625/31-26 (133548) от 08.05.90 г., МКИ<sup>5</sup> В01 3/18, В29В 7/78 / И.О.Дрейер, О.О.Рязанова, Г.Е.Голубчикова, А.А.Мухин (СССР).

*Дрейер*

автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических  
наук "Процесс непрерывного смесепри-  
готовления сыпучих материалов и его  
аппаратурное оформление".

Ответственный за выпуск Голубчиков Г.Е.  
Рига, 1990.

Подписано в печать 05.II.90. Формат 60x84/16

Объем 1,2 уч.-печ.л. Офсетная печать.

Бумага писчая. Тираж 100 экз.

Заказ ЗЭГ. Бесплатно.

Издатель ЛРВИ ИЛ.

Отпечатано на ротопринте Латвийского  
республиканского вычислительного  
центра коллективного пользования МСХ ЛР  
226079, г.Рига, ул.С.Эйзенштейна, 29.