

Автор ер.

З-22 ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ЗАЛДАСТАНИШВИЛИ Нодар Константинович

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ИСТЕЧЕНИЯ И СОЗДАНИЕ БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫГРУЗКИ
ТРУДНОСЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых
производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Одесса – 1982

Работа выполнена в Грузинском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте им. В.И.Ленина.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ПЛАТОНОВ П.Н.

доктор технических наук, профессор ГОРТИНСКИЙ В.В.

доктор технических наук, профессор ГЕНИЕВ Г.А.

Ведущая организация: Всесоюзный научно-исследовательский и экспериментально-конструкторский институт продовольственного машиностроения ВНИЭКИПРОДМАШ, г. Москва



Защита состоится "14" окт 88 1982г. в 10³⁰ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности
им. М.В.Ломоносова, 270039, Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "13" сент 88 1982г.

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

А.Ф.Загибалов

ОНАХТ 23.09.11

Теоретическое и эксп



v018020

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" предусмотрено осуществить разработку и внедрение в пищевую промышленность высокоэффективных систем машин и оборудования, обеспечивающих механизацию и автоматизацию технологических процессов, сокращение потерь сельскохозяйственного сырья при его переработке, хранении и доведении до потребителя.

Анализ работы технологических линий ряда пищевых производств показывает, что в большинстве случаев хранение и выгрузка проводятся нерационально. Имеют место значительные изменения физико-механических свойств сыпучих материалов и нарушения технологических требований (изменение гранулометрического состава, объемной массы, коэффициентов внешнего и внутреннего трения, непрерывности и равномерности истечения и т.д.), что приводит к значительному ухудшению качества продукции.

Большой вклад в развитие механики сыпучих материалов внесен отечественными и зарубежными учеными, работы которых позволили решить ряд важных научных и практических задач и явились базой для дальнейших исследований в этой области. Однако до настоящего времени непрерывная и равномерная выгрузка трудносыпучих материалов из бункеров остается нерешенным вопросом.

Проблема оказывается тем более сложной, когда речь идет о таких трудносыпучих продуктах пищевой промышленности, как чай и виноград. Отсутствие до настоящего времени бункерных устройств в чайной промышленности и наличие несовершенных в винодельческой свидетельствует о незавершенности модели трудносыпучих материалов, о недостаточном изучении их физико-механических свойств и процессов истечения из емкостей.

Хранение и выгрузка таких материалов, специфичность их свойств

определяют одну из актуальнейших задач - разработку способов и средств непрерывной выгрузки чайного материала и винограда с учетом их качественных показателей.

Цель работы. Разработка эффективных способов обрушения сводов трудносыпучих материалов и создание бункерных устройств, обеспечивающих непрерывную выгрузку с требуемой дозировкой.

Научная новизна. Для полярно-симметричного истечения составлена и решена в общем виде замкнутая система дифференциальных и алгебраических уравнений, определяющих поля скоростей и напряжений в зоне активного истечения, а также ее границу с зоной питания.

Для трубообразного истечения на основании теории предельного равновесия и анализа движения частиц получены общие выражения нормальных и касательных напряжений в активной зоне. Установлен характер распределения в ней вертикальных скоростей движения частиц сыпучего материала.

Получены формулы критических значений размеров выпускных отверстий и высоты сводов бункеров с плоским дном и с наклонными стенками.

Определены характеристики физико-механических свойств чайного материала и винограда и закономерности их изменения под влиянием различных факторов.

Установлено, что в зависимости от свойств материала и геометрических параметров бункера над выпускным отверстием образуются активные зоны истечения трех форм; в поперечном сечении они имеют вид лемнискаты, параболы либо двух параллельных прямых.

Предложены рациональные и надежные гравитационные (уничтожение одной или двух опор свода) и механические (воздействие в зонах сводообразования) способы обрушения сводов.

Обоснован и предложен принцип действия саморазгружающихся емкостей (бункер, кузов), основанный на изменении положения центра

масс относительно опор, пригодный для транспортировки сельскохозяйственных насыпных материалов (винограда, зерна, свеклы, кукурузы и др.).

Результаты исследований могут рассматриваться как новое направление в теории и практике механики трудносыпучих материалов.

Практическая ценность. Полученные теоретические выводы, расчетные формулы и значения параметров, описывающих физико-механические свойства чайного материала и винограда, позволяют рассчитывать основные параметры бункерных устройств с минимальными объемами неподвижных "мертвых" зон сыпучего материала.

Гравитационные способы обрушения сводов обеспечивают гарантированную и дозированную выгрузку трудносыпучих материалов и меняют характер истечения материала из бункера путем последовательного исключения неподвижных "мертвых" зон. Механический способ обрушения сводов решает задачу непрерывного и равномерного истечения сыпучих материалов, а при необходимости - и дробление их (винограда и других плодов).

Предложены инженерные методы расчета и конструирования бункерных устройств, на основе которых создана серия промышленных бункеров.

Разработан алгоритм расчета параметров процесса выгрузки самопрокидывающегося автокузова.

Практическая ценность полученных результатов диссертации в целом заключается в создании нового направления проектирования бункерных устройств, позволяющих решить проблему непрерывной выгрузки трудносыпучих материалов, встречающихся в разных отраслях народного хозяйства.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены на предприятиях чайной, винодельческой и хлебопекарной промышленности Грузинской ССР.

Бункер-дозатор с дисковым выгружающим устройством прошел ведомственное и межведомственное испытания на Цхалтубской чайной фабрике. Промышленные образцы бункеров выпускаются Самтредским опытно-механическим заводом "Чай-Грузия". Экономический эффект от внедрения бункерного отделения на одной чайной фабрике с 12 бункерами составляет 168,9 тыс.рублей в год. Выпуск таких бункеров намечен в экспортном исполнении для Социалистической Республики Вьетнам.

Бункер-дозатор с ленточно-конвейерными выгружающими устройствами прошел ведомственные испытания на Шемокмедской экспериментальной чайной фабрике. Научно-технический совет ЦО ЧП "Чай-Грузия" МПП СССР принял решение внедрить бункер-дозатор в промышленность. Ожидаемый экономический эффект от внедрения одной бункерной установки составляет 19,3 тыс.рублей в год.

Бункер-дозатор с дисковым выгружающим устройством внедрен на IV хлебозаводе г.Тбилиси. Ведомственной комиссией и РГПО "Груз-хлебпром" МПП СССР бункер-дозатор рекомендован для широкого внедрения на хлебопекарных предприятиях республики. Экономический эффект составляет около 0,03% от стоимости перерабатываемой муки.

Бункер-накопитель с гребенчато-валковыми выгружающими устройствами в 1973г. внедрен в линию переработки виноградных выжимок на Мукузанском, Варкетильском и Ахметском винзаводах ЦО ВП Грузинской ССР "Самтрест" МПП СССР. Общая экономическая эффективность одной линии составляет 12,2 тыс.рублей в год.

Агрегат непрерывного действия с приемным бункером винограда, валково-выгружающими устройствами (с гребнеотделителем и без гребнеотделителя) и механизмом предварительного отбора самотека (а.с. №443064) демонстрировался на ВДНХ в 1979 г. Он удостоен золотой, серебряной и бронзовой медалей. С целью увеличения производственных мощностей винзаводов, а также достижения максимальной экономии за счет унификации существующего на винзаводах оборудования на ос-

нове опытно-промышленного образца этого агрегата была создана технологическая линия. Согласно статистической отчетности экономический эффект за 1977-1980 гг. составил 5283 тыс.рублей.

Агрегат непрерывного действия с приемным бункером винограда, ленточно-конвейерными выгружающими устройствами, гребнеотделителем и механизмом предварительного отбора самотека прошел ведомственные испытания на экспериментальном винзаводе Мердзаванской базы Армянского НИИ ВВ и П.

Экспериментальный самопрокидывающийся автокузов испытан при транспортировке винограда в ПО ВП Грузинской ССР "Самтрест" МПП СССР. Расчетный экономический эффект на 3000 автокузовов составляет 592 тыс.рублей в год.

Прибор "Определение коэффициентов внешнего и внутреннего трения" (а.с. №271085) в 1973 г. внедрен в учебной лаборатории кафедры "Оборудование предприятий пищевой промышленности" ГПИ им.В.И.Ленина.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях, совещаниях и семинарах: 1) XI научно-техническая конференция ГПИ им.В.И.Ленина, г.Тбилиси, 1970 г.; 2) ХУН юбилейная научно-техническая конференция, посвященная 50-летию ГПИ им.В.И.Ленина, г.Тбилиси, 1972 г.; 3) ХУП научно-техническая конференция ГПИ им.В.И.Ленина, г.Тбилиси, 1974 г.; 4) XIX республиканская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава ГПИ им.В.И.Ленина и работников производства, г.Тбилиси, 1975 г.; 5) расширенное заседание секции хлебопекарной промышленности ЦП НТО и НТС Минпищепрома СССР, Минпищепрома Грузинской ССР, г.Кутаиси, 1977 г.; 6) XXI республиканская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава ГПИ им.В.И.Ленина и работников производства, г.Тбилиси, 1978 г.; 7) заседание Совета ГПИ им.В.И.Ленина от 6 июля 1979г.; 8) XXIII рес-

публиканская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава ГПИ им. В.И. Ленина и работников производства, г. Тбилиси, 1981 г.

Работа в целом обсуждалась на кафедре "Оборудование предприятий пищевой промышленности" ГПИ им. В.И. Ленина (1970-1980 гг.) и на объединенном заседании кафедр ОТИПП им. М.В. Ломоносова (1982 г.).

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 72 научных работах, в числе которых 27 авторских свидетельств.

Объем и структура работы. Основной текст диссертационной работы состоит из введения, восьми глав и заключения, изложенных на 258 страницах машинописного текста, 7 таблиц (5 страниц), 136 рисунков (97 страниц) и списка использованной литературы, включающего 335 источников (на 28 страницах).

Диссертация имеет три приложения, представленных в отдельном томе. Приложение I состоит из 30 страниц машинописного текста, 27 рисунков (15 страниц) и 15 таблиц (12 страниц); приложение 2 - из 76 таблиц (82 страницы); приложение 3 (официальные документы о внедрении результатов) - из 106 страниц машинописного текста, 26 рисунков (16 страниц) и 17 таблиц (14 страниц).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе "Обзор современных представлений о процессе истечения сыпучих материалов из емкостей" отмечается, что прошедшее десятилетие характеризуется значительным прогрессом в области разработки, создания и внедрения поточно-механизированных линий на отдельных участках переработки чая (завяливания, скручивания, ферментации и сушки). На основе этих достижений возникла реальная предпосылка создания комплексно-механизированного предприятия по производству байхового чая. Однако с точки зрения технической ос-

нащенности, наиболее слабым звеном в технологической схеме производства остается цех переработки полуфабриката чая с недопустимо высоким объемом тяжелого физического труда. Технологические операции хранения полуфабриката чая осуществляются в примитивных закромах или навалом. Отсутствуют дозировочные приспособления на разных стадиях переработки. Весь цех в целом требует коренных технологических усовершенствований.

В механизированных линиях переработки винограда наиболее узким звеном является участок приема и обработки винограда в начале технологического процесса. Приемные бункера характеризуются сводообразованием, преждевременным выделением сусла, истиранием виноградной массы, низкой производительностью.

Обзор работ по исследованию закономерностей истечения и сводообразования сыпучих материалов позволил осуществить анализ связи между механическими свойствами насыпных материалов, размерами выпускных отверстий, углами наклона стенок бункера и величиной расхода материала. Исследованиями в этой области в нашей стране занимались: К.В.Алферов, А.И.Арефьев, В.Г.Березанцев, М.С.Бернштейн, В.А.Богомягких, Н.В.Васильев, Г.А.Гениев, М.Н.Гольдштейн, В.В.Гортинский, С.С.Григорян, Л.В.Гячев, Н.Г.Дубынин, Р.Л.Зенков, И.Г.Иванищев, И.Г.Иванов, А.Г.Иммерман, А.Ю.Ишлинский, Ф.Е.Кенеман, Е.Б.Карпин, Г.К.Клейн, А.П.Ковтун, А.М.Курочкин, И.П.Линчевский, Г.М.Малахов, С.С.Минаев, А.Н.Новиков, В.А.Олевский, П.Н.Платонов, Г.И.Покровский, С.Ф.Соловых, С.А.Чесноков и др.; за рубежом: А.В.Дженике, И.Джунта, И.Иогансон, Р.Квапил, О.Ричмонд, У.Янеен и др. В работах этих ученых изучены процессы истечения сыпучих материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами (горячий кокс, руда, песок, зерно и др.). Как результат различия их свойств различны и порой противоречивы аналитические выражения для расчета размера выпускных отверстий, углов наклона стенок бункеров, ско-

рости истечения и расхода. Вместе с тем отмечаются общие положения, имеющиеся в выводах различных исследователей: истечение материалов происходит не из каждой точки объема той или иной емкости, а из точек объемов, находящихся внутри зон, ограниченных некоторыми поверхностями. Отсутствие единых расчетных закономерностей и представлений о форме указанных поверхностей свидетельствует о настоятельной необходимости изучения процесса истечения конкретного сыпучего материала.

На основании изложенного поставлены следующие задачи настоящей работы:

- формулировка граничных и начальных условий для системы уравнений движения сплошной среды, моделирующей трудносыпучие материалы;
- решение системы уравнений и проведение анализа решения;
- определение поверхностей, ограничивающих основные характерные зоны истечения сыпучих материалов;
- определение критических размеров выпускных отверстий в бункерах с плоским днищем и наклонными стенками;
- определение физико-механических свойств сыпучего материала и винограда, входящих в качестве параметров в полученные аналитические решения;
- проверка адекватности теории процесса истечения и сводообразования экспериментальным данным;
- проведение анализа характерных частных случаев и формулировка принципиальных положений процесса истечения и сводообразования;
- разработка рациональных способов обрушения сводов для обеспечения непрерывного истечения трудносыпучих материалов;
- разработка емкостей, разгружающихся способом изменения положения центра массы сыпучего материала;
- разработка бункерных устройств, обеспечивающих непрерывную дозированную выгрузку трудносыпучих материалов;

- разработка принципов проектирования технологических линий бестарного хранения, чая, приема и переработки винограда.

Во второй главе "Теоретическое исследование процесса истечения сыпучих материалов из бункеров" для случаев полярно-симметричного и трубообразного истечения составлены в общем виде замкнутые системы дифференциальных и алгебраических уравнений, определяющие поля скоростей и напряжений в зоне активного истечения. Получены формулы для критических значений размеров выпускного отверстия и высоты сводов бункеров с плоским дном и наклонными стенками.

Установлено, что процесс истечения сыпучих материалов из емкостей сопровождается образованием внутри емкости трех зон: зоны активного истечения, зоны питания и неподвижной зоны (рис. I). Зона активного истечения расположена над выпускным отверстием и по эмпирическим данным при полярно-симметричных истечениях ограничена поверхностью, близкой к поверхности второго порядка. Над зоной активного истечения находится зона питания. Между боковыми стенками бункера, зоной активного истечения и зоной питания расположена зона неподвижного материала. Траектории частиц среды в зоне питания близки к прямолинейным (пунктирные линии), параллельным оси ординат. По мере приближения к зоне активного истечения траектории частиц искривляются и в зоне активного истечения, будучи слабо искривленными, направлены в сторону выпускного отверстия. В связи с изложенным принято, что траектории частиц в зоне питания прямолинейны (сплошные линии) и направлены параллельно оси ординат, а в зоне активного истечения - прямолинейны и направлены в некоторую точку (полюс) на оси ординат. Это следует из условия симметрии задачи. Геометрическое место точек пересечения указанных семейств прямолинейных траекторий определяет контур зоны активного истечения.

Исходными функциями для плоской задачи об истечении сыпучего материала из бункера в условиях установившегося движения являются:

нормальные напряжения $\sigma_x(x, y)$ и $\sigma_y(x, y)$, касательные напряжения $\tau_{xy}(x, y) = \tau_{yx}(x, y) = \tau(x, y)$, горизонтальная $v_x(x, y)$ и вертикальная $v_y(x, y)$ составляющие скорости. На рис. 2 ψ определяет угол между положительным направлением оси ординат и направлением радиус-вектора рассматриваемой точки M , проведенного из начала координат O .

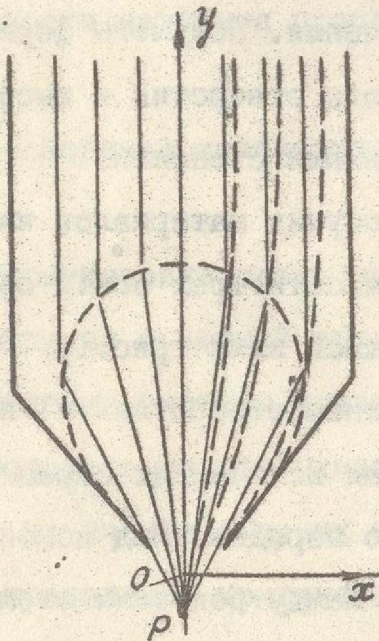


Рис. 1.

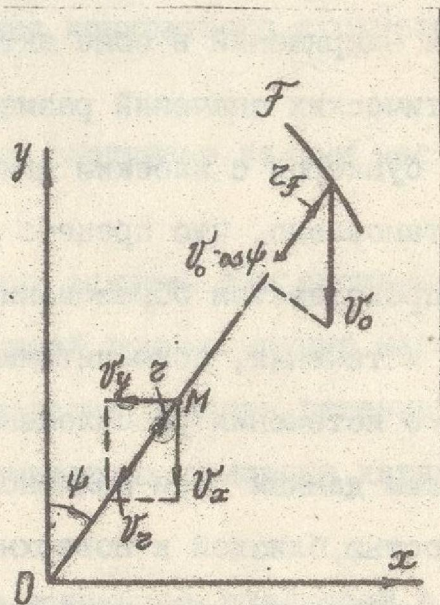


Рис. 2.

Очевидно, что величина ψ определяет также направление вектора скорости $\vec{v}_z$ в зоне активного истечения. Можно принять, что скорости всех без исключения частиц, поступающих из зоны питания, равны на контуре некоторой величине v_0 , а в зону активного истечения частицы поступают с радиальной скоростью $v_z = v_0 \cos \psi$. С учетом того, что траектории частиц в зоне активного истечения прямолинейны и направлены в полюс, уравнение плоскости среды в полярной системе координат (z, ψ) , связанных с полюсом, будет иметь вид:

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_z}{z} = 0. \quad (I)$$

При условии $z = z_f$, $v_z = v_0 \cos \psi$ после интегрирования уравнения (I) получено:

$$V_z = V_0 \frac{z_F}{z} \cos \psi.$$

Для задачи об истечении сыпучего материала из бункера можно составить следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= \rho V_0^2 \frac{z_F^2}{z^3} \sin \psi \cos^2 \psi, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= \rho V_0^2 \frac{z_F^2}{z^3} \cos^3 \psi, \\ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 &= \sin^2 \varphi_0 (\sigma_x + \sigma_y + 2\tau_0 \operatorname{ctg} \varphi_0)^2, \\ \sigma_x - \sigma_y &= 2\tau_{xy} \operatorname{tg} (2\psi - \varphi_0). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Неизвестными функциями в системе (2) являются нормальные (σ_x, σ_y) и касательные $(\tau_{xy} = \tau)$ напряжения и полярное уравнение $z_F(\psi)$ контура, ограничивающего зону активного истечения. φ_0 — угол внутреннего трения. Из двух алгебраических уравнений системы (2) определяются σ_x и σ_y как функции τ , а после определения производных $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}$ и $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$ в представлении τ и подстановки их в первое и второе уравнения системы (2) остаются два уравнения с двумя неизвестными — τ и z_F . В результате исключения функции z_F , по отношению к которой указанные два уравнения оказываются алгебраическими, получено дифференциальное уравнение для определения τ . Определив τ , можно найти все функции, являющиеся искомыми в рассматриваемой задаче.

Изложенный метод определения границы зоны питания и зоны активного истечения, а также напряженного состояния в последней, являясь в достаточной степени общим, не учитывает всех специфических особенностей физико-механических характеристик сыпучих материалов. В связи с этим описание кинематики процесса истечения того или иного конкретного сыпучего материала проводилось на основе результатов экспериментальных исследований, учитывающих физико-механические свойства этих материалов.

В ряде сыпучих материалов над выпускным отверстием образует-

ся трубообразное истечение. С целью изучения напряженного состояния материала в установившемся процессе истечения его из бункера рассмотрена соответствующая плоская задача. При непрерывной подаче материала в бункер свободная поверхность находится под углом естественного откоса (рис.3). Область сыпучего материала в бункере при истечении может быть разделена на две части зоной вертикального трубообразного истечения - активную зону A и неподвижную, пассивную зону Π . Расположение зоны истечения A относительно боковых стенок рассматриваемой области произвольно. Координатная ось y совмещена с геометрической осью истечения. Когда заслонка открывается на ширину выпускного отверстия A , материал над отверстием начинает перемещаться под действием силы тяжести в положительном направлении оси y .

Для описания установившегося движения сыпучей среды со сцеплением ($\tau_0 \neq 0$) составлена система уравнений относительно неизвестных функций $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, v_x, v_y$:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) &= v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y}; \\ g - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right) &= v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y}; \\ \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \sin \varphi_0 + \tau_0 \cos \varphi_0; \\ \operatorname{div} \rho \vec{v} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Дополнительным условием к системе (3) можно принять закон распределения плотности $\rho = \rho(x, y)$, где σ_x, σ_y - нормальные, τ_{xy} - касательные напряжения; ρ - плотность среды ($\rho = \frac{\gamma_0}{g}$).

Первые два уравнения системы (3) представляют собой уравнения движения, третье уравнение является следствием условия предельного равновесия, а четвертое уравнение определяет условие сплошности среды.

В соответствии с выбранной системой координат x, y в условиях достаточно узкого потока по сравнению с шириной бункера B можно допустить отсутствие поперечного смещения частиц сыпучего материала при стесненном движении. Учитывая это, можно аппроксимировать линии тока прямыми линиями, параллельными оси y (рис. 4) $v_x = 0$.

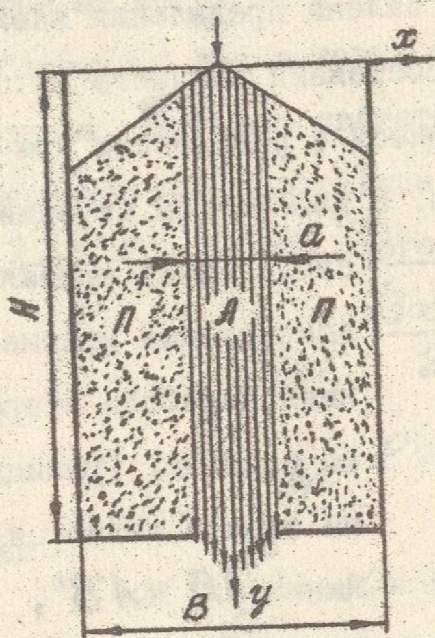


Рис. 3.

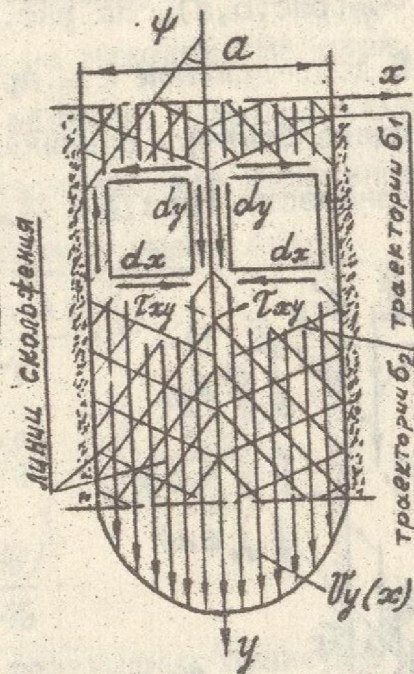


Рис. 4.

В результате решения системы (3) получены компоненты напряжения

$$\sigma_x = \rho g (y - x \operatorname{tg} \varphi_0) (1 - \sin^2 \varphi_0) - \frac{\tau_0}{2} \sin 2\varphi_0; \quad (4)$$

$$\sigma_y = \rho g (y - x \operatorname{tg} \varphi_0) (1 + \sin^2 \varphi_0) + \frac{\tau_0}{2} \sin 2\varphi_0; \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sin 2\varphi_0}{2} \rho g (y - x \operatorname{tg} \varphi_0) + \tau_0 \cos^2 \varphi_0 \quad (6)$$

и доказана независимость вертикальной скорости v_y от уровня расположения частиц:

$$\frac{\partial v_y}{\partial y} = 0; \quad v_y = v_y(x).$$

Полученные формулы напряжений позволяют определить среднюю скорость истечения, зависящую от физико-механических характеристик сыпучего материала.

Рассмотрены явления сводообразования связного сыпучего материала в бункерах с горизонтальным дном, ширина выпускного отверстия которых $a \leq a_{кр}$ (рис. 5, а). На рис. 5, б представлена предельная зависимость $\sigma - \tau$. В допредельном и в предельном состоянии сыпучего материала, заполняющего бункер, возникают находящиеся в равновесии или в предельном равновесии (при $a = a_{кр}$) своды. В поперечном сечении

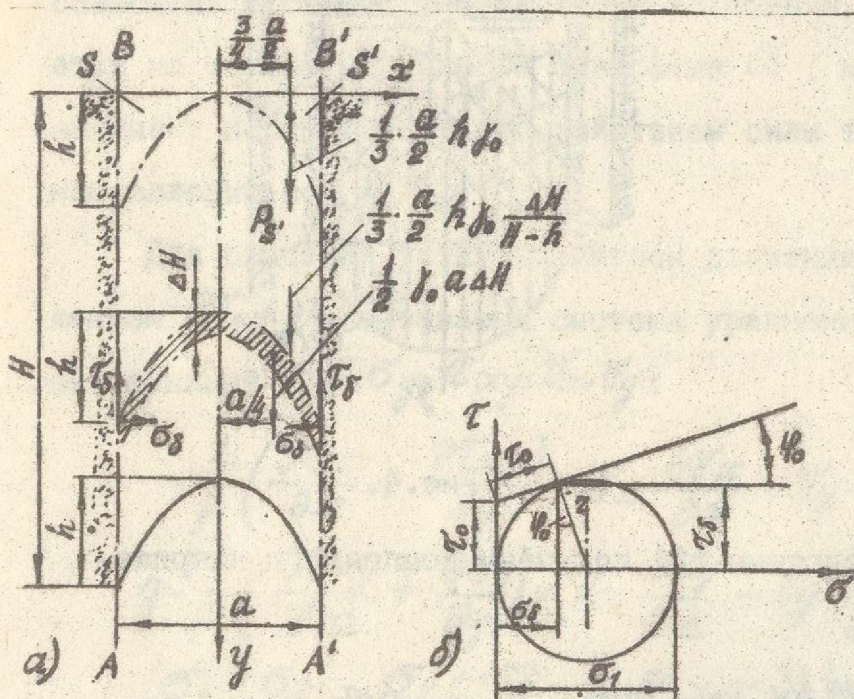


Рис. 5.

свода лежит кривая, описываемая уравнением параболы второго порядка. Границами сводов являются линии AB и $A'B'$, проходящие через края выпускного отверстия. По достижении величиной a критического значения линии AB и $A'B'$ можно рассматривать как

площадки скольжения, на которых в соответствии с рис. 5, б реализуется условие предельного равновесия:

$$\begin{aligned} \tau_\delta &= \tau_0 (1 + \sin \varphi_0); \\ \sigma_\delta &= \tau_0 \cos \varphi_0, \end{aligned} \quad (7)$$

где τ_δ и σ_δ соответственно касательное и нормальное напряжения по линиям AB и $A'B'$; τ_0 - начальное сопротивление сдвигу.

В работе Р.Л. Зенкова предполагается, что каждый из элементарных сводов высотой ΔH в допредельном и предельном состоянии полностью воспринимает свой собственный вес $\gamma_0 a \Delta H$, уравнивающий

ся по линиям AB и $A'B'$ вертикальными касательными напряжениями $2\tau_{\delta} \Delta H$ (H - полная высота слоя сыпучего материала, δ_0 - объемная масса сыпучего материала).

В то же время анализ рис.5,а показывает, что вблизи свободной поверхности сыпучего материала имеют место области S и S' , которым не могут быть поставлены соответствующие равновесные своды и собственный вес которых передается на нижележащие слои сыпучего материала. Этот вес является, таким образом, дополнительной внешней нагрузкой на нижележащие своды. Аналитические выражения для $\gamma_{кр} = \frac{h_{кр}}{H}$ и $\lambda = \frac{a_{кр}}{H}$ с учетом этого обстоятельства имеют вид:

$$\gamma_{кр} = \frac{(3\alpha+1)}{2} - \sqrt{\frac{(3\alpha+1)^2}{4} - 2\alpha}; \quad (8)$$

$$\lambda_{кр} = 2x(1+\sin\varphi_0) \frac{(1-\gamma_{кр})}{(1-\frac{2}{3}\gamma_{кр})}, \quad (9)$$

где

$$x = \frac{\tau_0}{\delta_0 H}; \quad \alpha = x \frac{(1+\sin\varphi_0)^2}{4 \cos\varphi_0}.$$

Влияние угла наклона стенок щелевидных бункеров на величину критического размера выпускного отверстия определялось при условии, что над выпускным отверстием образуется находящийся в предельном равновесии свод толщиной Δh (рис.6,а). Обрушения нижнего и всех вышележащих сводов происходят при выполнении условия предельного равновесия по линиям AB и $A'B'$, которое, как это будет видно из дальнейшего, реализуется при значениях угла β , в достаточной степени отличающихся от $\frac{\pi}{2}$.

При возрастании величины β возникает возможность образования второй картины обрушения нижнего и всех вышележащих сводов, причиной которой является достижение условия предельного равновесия по плоскостям соприкосновения сыпучего материала с наклонными стенками бункера. В этом случае линию $A'n$ (рис.6,б) можно рассматривать как опасную площадку скольжения с отличными от τ_0 и φ_0 физико-механическими характеристиками. Предельные нормальное (τ_c) и касательное (τ_s)

✓ 018020

ОНАХТ

напряжения на ней выражаются соотношениями $\tau_c = \tau(1 + \sin \varphi)$; $\sigma_c = \tau \cos \varphi$, где φ - угол трения сыпучего материала по стенке бункера; τ - начальное сопротивление внешнему сдвигу.

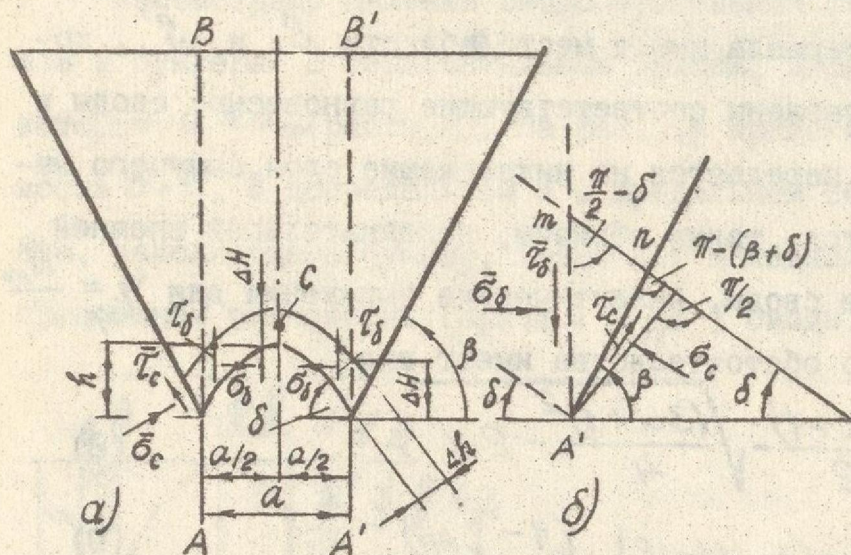


Рис. 6.

При этом нормальное и касательное напряжения $\bar{\sigma}_\delta$ и $\bar{\tau}_\delta$ по плоскостям, соответствующим линиям AB и $A'B'$ (рис. 6, а) и линии $A'm$ (рис. 6, б), уже не удовлетворяют соответствующей предельной зависимости.

Таким образом, существует одно, и только одно значение $\beta = \beta_*$, при котором предельные условия реализуются на линии $A'm$ и на линии $A'n$. Аналитическое выражение для критического размера выпускного отверстия a для второго случая, когда $\beta > \beta_*$, имеет вид

$$a_{кр} = \frac{2\tau}{\gamma_0} \left[(1 + \sin \varphi) \sin \beta + \cos \varphi \cos \beta \right] \sin \beta. \quad (10)$$

Переходное значение $\beta = \beta_*$, соответствующее смене картин обрушения сводов, определяется из уравнения:

$$\tau \left[(1 + \sin \varphi) \sin \beta_* + \cos \varphi \cos \beta_* \right] \sin \beta_* = \tau_0 (1 + \sin \varphi_0). \quad (11)$$

Критическая высота свода, соответствующая второму случаю (скольжение по стенкам), определяется выражением

$$h_{кр} = \frac{\tau}{\gamma_0} \left(1 - \frac{1}{2 \sin \beta} \right) \frac{[(1 + \sin \varphi) \sin \beta + \cos \varphi \cos \beta]^2}{\cos \varphi \sin \beta - (1 + \sin \varphi) \cos \beta}. \quad (12)$$

В третьей главе "Исследование некоторых физико-механических свойств чайного материала и винограда" приведен обзор исследований физико-механических свойств сыпучих материалов и результаты экспери-

ментальных исследований физико-механических свойств чая и винограда.

Анализ работ Л.В.Башкиной, И.И.Берковича, П.Л.Бернаша, М.С.Бернштейна, П.Д. Буренина, Ю.А.Ветрова, М.П.Волорovichа, Г.И.Глушкова, К.Н.Голубкова, М.Н. Гольдштейна, В.В.Гортинского, Э.А.Даниловой, Б.В.Дерягина, Н.Б.Демкина, Р.Л.Зенкова, Л.И.Карнаушенко, Г.К.Клейна, И.В.Крагельского, Г.М.Малахова, М.В.Мальшева, Н.Е.Пестова, П.Н.Платонова, Л.В.Эджибия и др. показывает, что изучению физико-механических свойств сыпучих материалов посвящено большое количество исследований, но круг задач, подлежащих рассмотрению, еще не исчерпан по причине наличия большого количества насыпных материалов, существенно отличающихся друг от друга физико-механическими свойствами. В частности, если для муки, пшеницы, комбикормов, различных строительных материалов имеется достаточное количество данных об их свойствах, то для различных видов чая и сортов винограда эти данные практически отсутствуют.

В работе экспериментально определены: а) коэффициенты внешнего трения движения и покоя, коэффициенты внутреннего трения, начальное сопротивление сдвигу; б) объемная масса; в) высота вертикальной свободно стоящей стенки и угол обрушения; г) угол естественного откоса; д) степень сыпучести чая.

Проведены исследования одиннадцати видов чайного материала (полуфабрикат - фр. I, фр. II, фр. III; листовый чай Л-1, Л-2, Л-3; мелкий чай - М-1, М-2, М-3; высева и крошка), для грузинских сортов винограда Ркацители, Цоликаури, Цицка и армянских - Воскеат, Гарандмак, Ркацители, Кахет. Влажность полуфабриката чая колебалась в пределах 4-5% и готовой продукции - 5-7%.

Для чайного материала и винограда получены закономерности изменения фрикционных свойств, объемной массы, высоты вертикальной свободно стоящей стенки, угла обрушения, угла естественного откоса и установлены корреляционные связи между ними.

Опыты показывают, что коэффициент трения исследуемых продуктов зависит от нормального давления, площади фактического контакта и фрикционных свойств материала. С увеличением крупности чаинок и плотности виноградных гроздей коэффициенты внешнего трения покоя и движения уменьшаются. Для сравнительно крупных размеров чаинок с увеличением давления ($\sigma = 1,3 - 7,3$ кПа) коэффициент внешнего трения уменьшается незначительно, а для мелких чаев (высевка, крошка) и винограда ($\sigma = 2,8 - 9,5$ кПа) указанная зависимость наблюдается более отчетливо. Установлено также, что с увеличением крупности и извилистости чайного материала коэффициент внутреннего сдвига и трения увеличивается, а с увеличением давления ($\sigma = 1,2 - 5,0$ кПа) коэффициент внутреннего сдвига проявляет тенденцию к уменьшению. С повышением влажности виноградной мезги начальное сопротивление сдвигу и коэффициент внутреннего трения уменьшаются.

Объемная масса и коэффициенты уплотнения определяются гранулометрическим составом, степенью извилистости чаинок и строением виноградных гроздей, в частности, мелкие чай и плотные гроздья дают максимальную объемную массу, а крупные извилистые чаинки и рыхлые гроздья - максимальный коэффициент уплотнения.

С увеличением гранулометрического состава, степени извилистости чаинок и рыхлости виноградных гроздей высота вертикальной свободно стоящей стенки, угол обрушения и угол естественного откоса увеличиваются.

По 12-балльной системе, характеризующей степень сыпучести, чайный материал разделен на четыре группы: трудносыпучий материал - 1-3,5 балла; среднесыпучий - 3,5-7,5 балла; хорошосыпучий - 7,5-11,5 балла; идеальносыпучий - 11,5-12,0 балла. В условиях действия лишь собственной массы наивысшую балловую оценку (12,0) имеют крошка и высевка чая, а наименьшую - фракция III полуфабриката (3,25) как сравнительно крупный и связный материал. С увеличением давления

($\sigma = 0+10$ кПа) степень сыпучести уменьшается, причем один и тот же вид чая может проявлять свойства трудносыпучего, среднесыпучего и т.д. материала.

В четвертой главе "Экспериментальное исследование процесса истечения чайного материала и винограда" установлены основные зоны процесса истечения сыпучих материалов из призматического бункера, снабженного днищем с наклонными стенками, и выявлено влияние параметров выпускных отверстий α , угла наклона стенок бункера β и вида исследуемого материала на основные зоны истечения. Определены скорости истечения сыпучего материала в зависимости от параметров α и β бункера. Установлены закономерности истечения сыпучих материалов из бункера с плоским дном с отверстиями квадратного сечения.

Исследования выполнены для всех видов чайного материала и грузинских сортов винограда Цоликаури и Цицка. Для изучения процесса истечения были созданы плоские и объемные модели щелевого бункера.

Основные зоны истечения определены методом наблюдения за объемами обрушения. Кривые, ограничивающие объемы обрушения чайного материала (рис.7) и винограда (рис.8), определяют следующие основные зоны: 1) зона А — зона массового истечения (активная зона); 2) зона Па (В) — "мертвая" зона (пассивная зона); 3) зона Пи (С) — зона питания (зона сплошного движения материала).

З о н а А. Во всех плоскостях, параллельных плоскости xoy (рис.7), образуется фигура, имеющая участки лемнискаты. Сечение лемнистатного цилиндра плоскостью xoy для готовой продукции чая описывается уравнением

$$z = (h_0 + h_1) \cos 2\kappa\theta. \quad (13)$$

Экспериментально установлено, что в начальный период истечения высота лемнискаты h_0 возрастает от выпускного отверстия до свободной поверхности материала в бункере, после чего высота линейно

уменьшается во времени

$$\begin{aligned} h_0' &= m_1 + n_1 t'; \\ h_0'' &= m_2 + n_2 t'', \end{aligned} \quad (I4)$$

где h_0' - высоты лемнискаты при возрастании, м; h_0'' - высота лемнискаты при уменьшении, м; m_1, m_2 , м; n_1, n_2 , м/с - константы соответственно в пределах времени t' и t'' , с, значения которых определены.

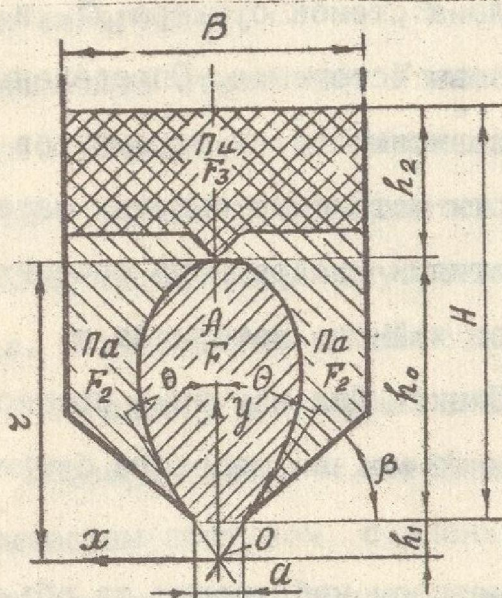


Рис. 7.

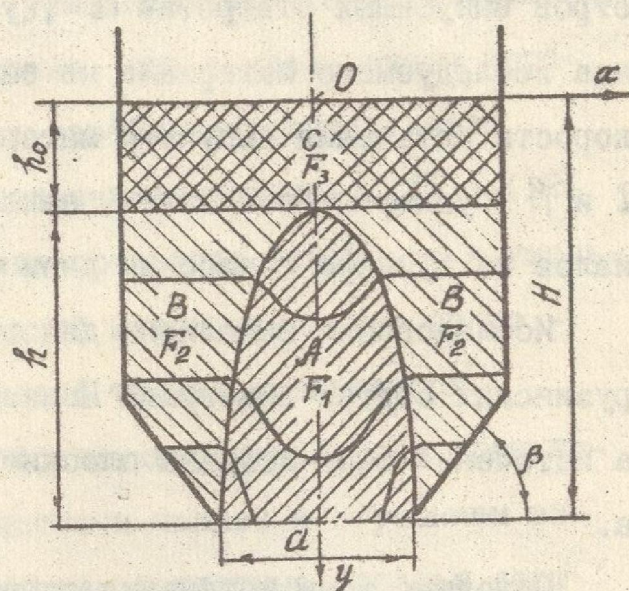


Рис. 8.

Для виноградного материала зона А (рис. 8) ограничивается параболическим цилиндром, сечение которого плоскостью xoy описывается уравнением

$$y = h_0 + \frac{4(H-h_0)}{a^2} x^2. \quad (I5)$$

Установлено, что с увеличением угла наклона стенок бункера в пределах $\beta = 20-60^\circ$ (при $a = 500 \text{ мм} = \text{const}$) и выпускного отверстия $a = 500-700 \text{ мм}$ (при $\beta = 40^\circ = \text{const}$) высота параболы истечения уменьшается по линейному закону $h_1 = m_1 + n_1 \beta$; $h_2 = m_2 + n_2 a$, где константы $m_1 = 1067,5 \text{ мм}$; $n_1 = -9,375 \text{ мм/град}$; $m_2 = 1117 \text{ мм}$; $n_2 = -0,81$.

Полученные экспериментальные данные площадей F_1, F_2, F_3 всех

основных зон истечения (рис. 7, 8) в зависимости от β дают основание считать, что для исследуемых материалов при угле наклона стенок $\beta = 20^\circ$ значения площадей F_1 активной зоны истечения А получают- ся заниженными, когда истечение материала происходит в основном над выпускным отверстием. В результате этого площадь F_2 пассивной зоны истечения увеличивается. С ростом угла наклона стенок $\beta = 30 - 40^\circ$ в процессе истечения происходит увеличение площадей активной зоны за счет увеличения угла θ лемнискаты. Увеличение площадей F_1 вызывает уменьшение площадей пассивной зоны F_2 и зоны питания F_3 . Дальнейшее увеличение угла наклона стенок $\beta = 50-60^\circ$ вызывает уменьшение площадей активной F_1 и пассивной F_2 зон истечения, соответственно увеличивается площадь F_3 - зоны питания. Это можно объяснить тем, что активная зона истечения не успевает развиваться снизу вверх, т.к. в этом случае активизируется зона питания (зона массового истечения).

С увеличением размеров выпускных отверстий a при $\beta = const$ площадь F_1 активной зоны уменьшается (зона А не успевает развиваться снизу вверх). Уменьшение активной зоны вызывает уменьшение пассивной зоны истечения и увеличение объема обрушения со свободной поверхности материала.

Результаты проведенных экспериментальных исследований процесса истечения из бункеров с плоским дном показывают, что в зависимости от размеров отверстий и механических свойств материала меняется характер истечения из бункера. По характеру истечения следует различать полуфабрикат чая и виноград, листовые и мелкие чаи.

Характерным для полуфабриката чая и винограда является то, что при любых размерах выпускных отверстий ($a = 100-700$ мм) истечение материала не происходит. При дальнейшем увеличении выпускного отверстия до размера, равного поперечному сечению бункера ($a = 800$ мм), материал не течет, а движется как сплошное тело. Характерным для

где с учетом (I4) $v_z = (t, 0) = \frac{dh(t)}{dt} = |n_2|$.

Значение v_0 вдоль некоторого произвольного горизонтального сечения зоны активного истечения ($h = \text{const}$) будет равно:

$$v_0 = |n_2| \frac{[h(t) + h_1]}{(h + h_1)} \cos^2 2\kappa\theta \cos\theta. \quad (\text{I8})$$

Вертикальная составляющая скорости v_0 - величина v_y определяется зависимостью

$$v_y = v_y(h, t, \theta) = |n_2| \frac{[h(t) + h_1]}{(h + h_1)} \cos^2 2\kappa\theta \cos^2 \theta. \quad (\text{I9})$$

Полный объем материала $V(t_1)$, выпавшего из бункера за интервал времени $(0 - t_1)$, определяется выражением

$$V(t_1) = \int_0^{t_1} Q(t) dt = \frac{\pi}{4\kappa} |n_2| (h_1 + m_2 + \frac{n_2}{2} t_1) t_1. \quad (\text{20})$$

На рис. I0 приведены эпюры вертикальных скоростей (кривые I')

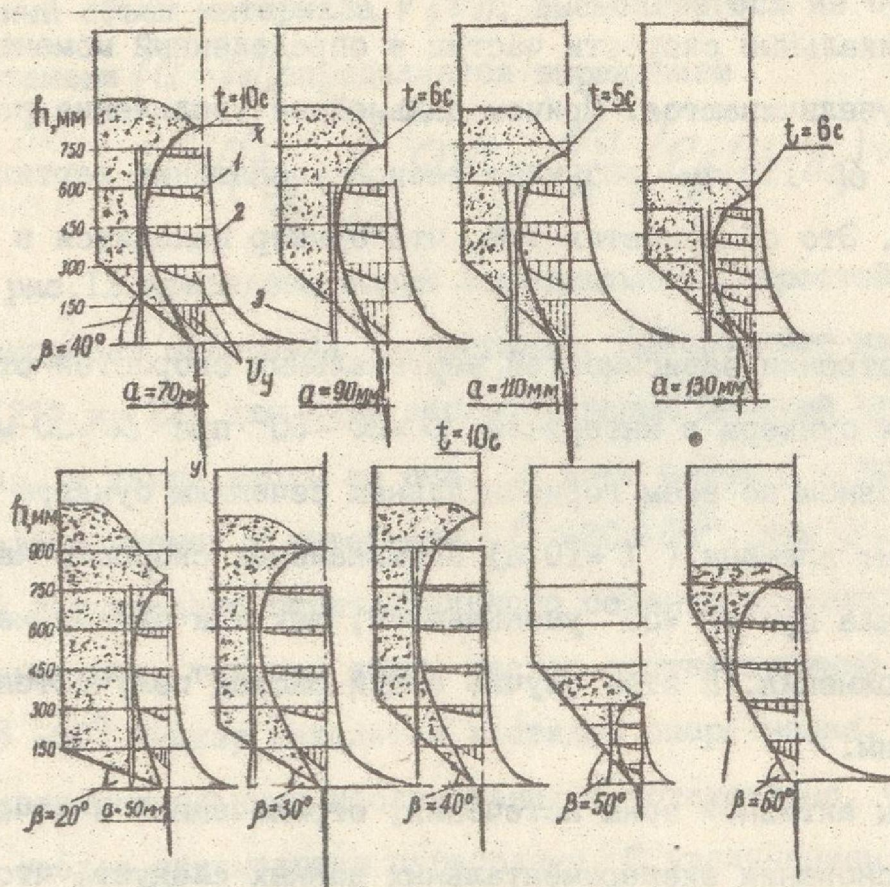


Рис. I0.

частиц сыпучего материала (высевка чая), построенные на основании формулы (19) для ряда горизонтальных сечений активной зоны истечения, а также вдоль ее оси. Анализ приведенных эпюр $V_y(h, t, \theta)$ показывает, что: 1) при $h = \bar{h} = const$ максимальные значения V_y имеют место на оси активной зоны (при $\theta = 0^\circ$), а наименьшие - на ее границе (при $\theta = \theta_*$); 2) вертикальная скорость $V_y = V_y(h, t, 0)$ на оси активной зоны резко увеличивается (кривая 2) с уменьшением $h = \bar{h}$, достигая своего наибольшего значения на уровне выпускного отверстия; 3) вертикальная скорость на границе активной зоны (кривая 3) незначительно уменьшается с уменьшением $h = \bar{h}$, достигая своего наименьшего значения на уровне выпускного отверстия или вблизи его. Рассматривая эпюры вертикальных скоростей (кривые I, рис. 10) в зависимости от размера выпускного отверстия a при $\beta = 40^\circ = const$, можно констатировать, что с увеличением размера выпускного отверстия в пределах $a = 50-110$ мм по всем горизонтальным сечениям активной зоны вертикальные скорости частиц в определенный момент времени ($t = 5-10$ с) увеличиваются. Причем дальнейшее увеличение размера отверстия до $a = 130$ мм вызывает резкое уменьшение вертикальных скоростей V_y . Это объясняется тем, что бункер находится в стадии опорожнения.

Из рассмотрения зависимостей вертикальных скоростей от угла наклона стенок бункера в интервале $\beta = 20-60^\circ$ при $a = 50$ мм следует, что в основном по всем горизонтальным сечениям бункера в определенный момент времени ($t = 10$ с) вертикальная скорость частиц сыпучего материала при $\beta = 50^\circ$ уменьшается, так как бункер находится в стадии опорожнения. В этом случае общий расход получается существенно большим.

Для формы активной зоны истечения, ограниченной в сечении параболой, на основании экспериментальных данных следует, что в процессе истечения очертание активной зоны остается неизменным (рис. 11).

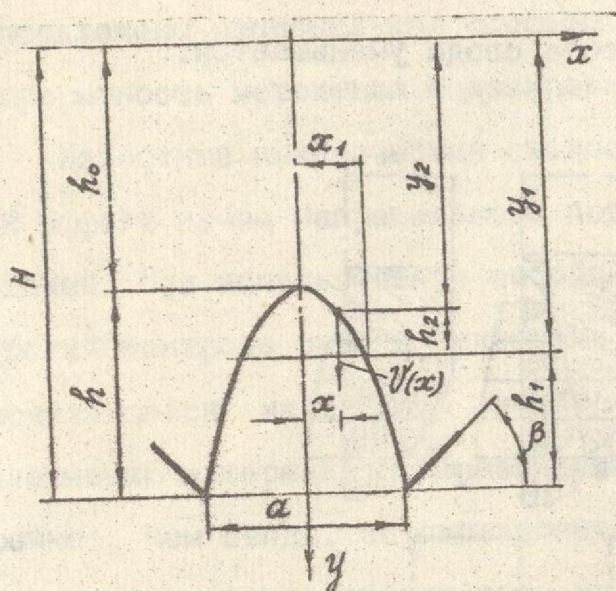


Рис. II.

В предположении, что траектории движения частиц сыпучего материала прямолинейны и параллельны оси y , рассмотрено произвольное горизонтальное сечение активной зоны $y = y_1$, расположенное на высоте h_1 от уровня выпускного отверстия. Скорость движения частиц на уровне рассматриваемого горизонтального сечения равна:

$$v_y = v_y(x, h_1) = \sqrt{2g} \sqrt{(H - h_0) \left[1 - \left(\frac{2x}{a} \right)^2 \right] - h_1}; \quad (21)$$

$$v_y(0, h_1) = \sqrt{2g} \sqrt{(H - h_0) - h_1}. \quad (22)$$

Полный объем материала $V(t_1)$, выпавшегося из бункера за интервал времени $(0 - t_1)$, определяется выражением

$$V(t_1) = \int_0^{t_1} Q dt = \frac{\pi a}{4} \sqrt{2g(H - h_0)} \cdot t_1. \quad (23)$$

На рис. 12 приведены эпюры вертикальных скоростей (кривые I) частиц сыпучего материала (винограда), построенные на основании формул (21) и (22) для ряда горизонтальных сечений активной зоны истечения, а также вдоль ее оси. Во всех случаях с увеличением угла наклона стенок в интервале $\beta = 20 - 60^\circ$ (при $a = 50 \text{ мм} = \text{const}$) для каждого горизонтального сечения вертикальные скорости уменьшаются, так как общий расход соответственно увеличивается, и при $\beta = 60^\circ$ бункер находится в стадии опорожнения.

Экспериментальными исследованиями установлено, что профили сечений сводов описываются параболами. С увеличением размеров ширины выпускного отверстия значения высоты сводов возрастают, а с

увеличением связности материала высота свода уменьшается.

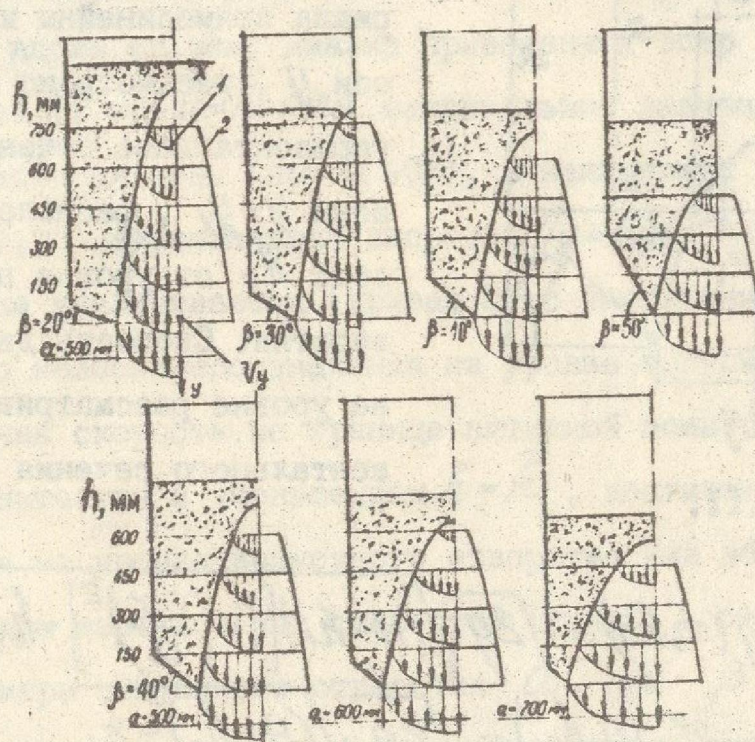


Рис.12.

Характерным для крупной фракции полуфабриката чая является то, что в пределах размеров выпускного отверстия экспериментального бункера до 700 мм образуются устойчивые своды. В производственных условиях ширина свода достигает 3-х м.

Сопоставление расчетных значений размеров сводов с опытными данными показало, что их отличие находится в допустимых пределах.

Таким образом, для трудносыпучих материалов необходимо разработать способы разгрузки бункеров, обеспечивающие непрерывную и равномерную выгрузку с полным исключением "мертвых" - неподвижных зон.

В пятой главе "Изыскание рациональных способов обрушения сводов для обеспечения непрерывного истечения трудносыпучих материалов" на основе систематизации и анализа существующих механических, вибрационных и пневматических сводообрушителей научно обоснованы

и предложены рациональные способы обрушения сводов, обеспечивающие непрерывность истечения и дозирования.

Известные механические сводообрушители не всегда дают положительный эффект из-за неправильного подбора и места установки сводообрушителей. При использовании вибрационных сводообрушителей требуется строгий контроль работы бункерных устройств. Вибрация большинства слеживающихся материалов может привести не к разрыхлению, а к уплотнению материала с образованием таких сводов, которые гораздо прочнее, чем своды, образовавшиеся при гравитационном истечении. Пневматические сводообрушители во многих случаях дают положительный эффект, однако они используются только для ограниченного круга насыпных материалов и требуют применения дорогостоящего оборудования.

Сущность разработанного способа обрушения сводов заключается в том, что регулирование размера выпускной щели (посредством заслонки) осуществляется до образования устойчивого свода материала над щелью (например, отверстие $I - I'$, рис.13), при этом часть сыпучего материала под сводовым контуром высыпается в количестве q_1 , а затем его истечение прекращается.

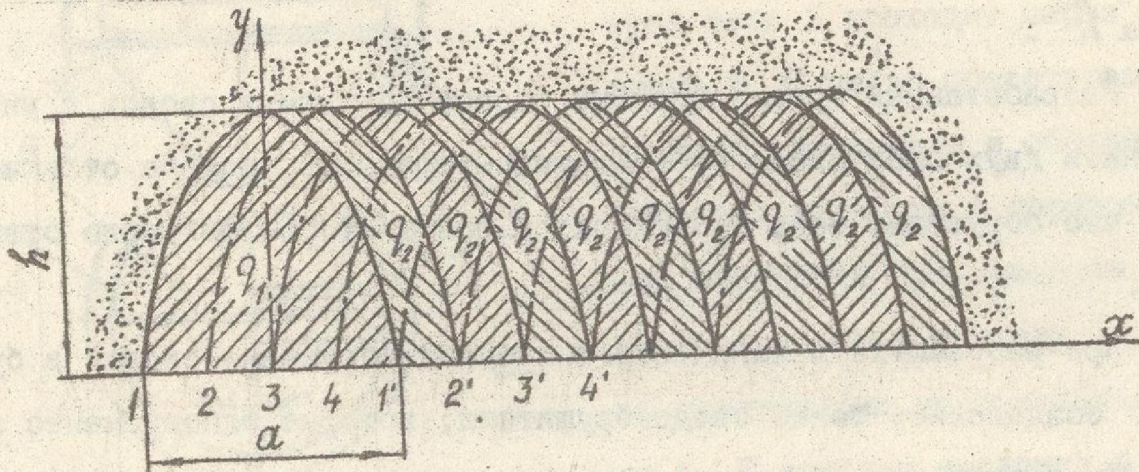


Рис.13.

Далее выпускное отверстие $I-I'$ посредством движения дна от привода непрерывно сдвигают в направлении, поперечном к оси образовавшегося

свода материала, удерживаемого в неподвижном состоянии. Осуществление сдвига выпускного отверстия в направлении, поперечном оси свода материала, приводит к сдвигу края отверстия относительно свода, освобождает свод от части опоры (одна опора) и уничтожает часть опорных реакций, что нарушает равновесное состояние поверхности свода и ведет к его гравитационному обрушению. Когда выпускное отверстие достигает положений 2 - 2', 3 - 3', 4 - 4' и т.д., в каждом случае под сводовым контуром высыпается материал в количестве q_2 . Непрерывность сдвига ведет к непрерывности процесса образования сводов и их обрушения. Для правильной выгрузки сыпучего материала необходимо, чтобы время t_h падения частиц с высоты свода h было меньше или равнялось времени t_r прохождения отверстием половины его ширины a . ($t_h \leq t_r$). После подстановки значения t_r и t_h в последнее условие допустимая скорость движения отверстия

$$v \leq \frac{a}{2} \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

Зная скорость v , можно определить основные расчетные параметры питателя. За один оборот щели под цилиндром бункера или за один проход щели по всей длине бункера опустится весь материал по высоте свода h .

Разработанный гравитационный способ обрушения сводов с уничтожением двух опор свода от вышерассмотренного способа отличается тем, что обрушение опор происходит с обеих сторон щелевого отверстия.

При разработке механического способа обрушения сводов в бункерах создавались такие сводообрушители, которые одновременно выполняли бы процесс дозированной выгрузки трудносыпучего материала из бункеров и служили рациональной основой поточного производства. Сущность способа заключается в том, что рабочие органы (питатели) при сдвиге осуществляют механическое воздействие на основание сво-

да, что приводит к его непрерывному обрушению.

Предложенные способы обрушения сводов значительно изменяют характер истечения сыпучего материала по сравнению с описанными в четвертой главе процессами истечения из бункеров с наклонными и плоскими днищами и обеспечивают гарантированную выгрузку с полным исключением неподвижных "мертвых" зон материала.

В шестой главе "Разработка и внедрение выгружающих устройств бункеров, работающих на основе гравитационного и механического способов обрушения сводов" описаны созданные на основе результатов исследования выгружающие устройства.

Бункер-дозатор с дисковым выгружающим устройством, работающий на основе гравитационного способа обрушения сводов с уничтожением одной опоры свода, представлен на рис. I4. Под цилиндрическим бункером I расположен вращающийся диск 2 с радиальной разгрузочной щелью 3, внешний край которой расположен под нижней кромкой корпуса бункера I, а внутренний край щели 3 проходит через центр диска 2. С целью предотвращения вращения материала и обеспечения его неподвижности в горизонтальной плоскости при вращении диска 2 над ним к бункеру I радиально прикреплена вертикальная полоса 5. С помощью заслонки 4 регулируют размер выпускной щели 3

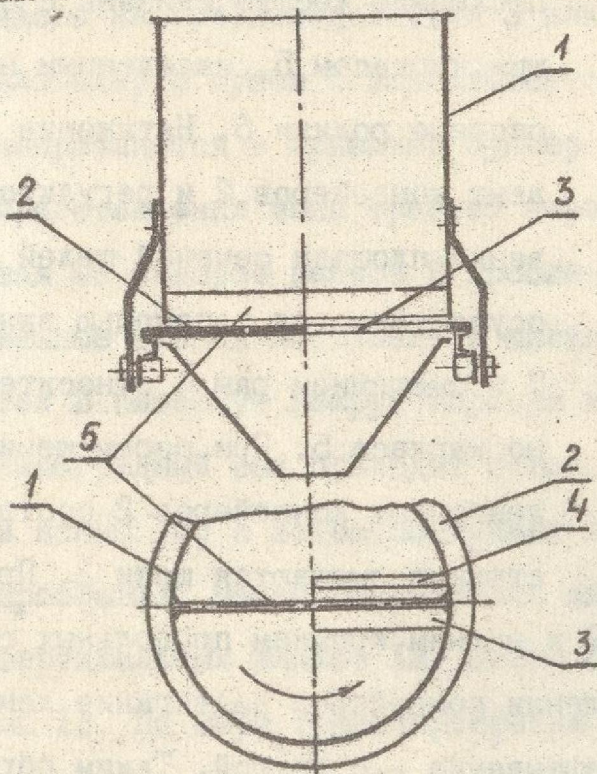


Рис. I4.

дна бункера I с тем, чтобы достичь образования устойчивого свода материала над щелью. Далее включается привод диска 2 и осуществляет-

ся непрерывный сдвиг выпускной щели 3 в направлении, поперечном оси свода материала. Свод теряет часть опоры и обрушается. Щель 3 при своем движении пробегает всю площадь круга под цилиндром бункера I. Это обеспечивает за один оборот диска непрерывное истечение слоя материала толщиной, равной высоте свода по всей площади диска.

Бункер-дозатор с ленточно-конвейерными выгружающими устройствами состоит из прямоугольного бункера I (рис. 15), под которым вмонтированы последовательно горизонтально распо-

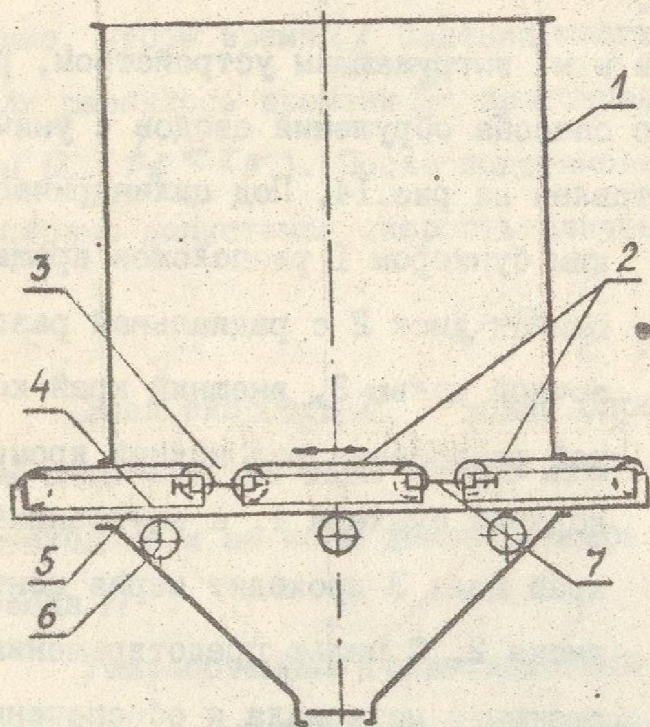


Рис. 15.

ложенные ленточные конвейеры 2, образующие между собой щели 3 по всей ширине бункера I. Верхние ветви лент конвейеров 2 неподвижны и собраны на рамах 4. Последние жестко связаны с общим каркасом 5, насаженным на опорные ролики 6. Натяжение лент конвейеров 2 и регулирование площади сечений щелей 3 осуществляется с помощью винтов 7 и смещением рам 4 относительно каркаса 5. При перемещении ленточных конвейеров 2 соответственно смещаются щели 3. При-

жатие (крепление) лент конвейеров 2 к нижним кромкам продольных стенок бункера I обеспечивает при смещении конвейеров надвигание ленты с одной стороны каждой щели 3 и свертывание - с другой. Таким образом, при перемещении щелей 3 в направлении, поперечном к оси образовавшихся сводов материала, своды теряют часть опоры, обрушиваются, и материал проходит в щели 3. Непрерывный сдвиг щелей 3 вызывает непрерывное образование и разрушение сводов. Такое выполнение системы

ленточных конвейеров исключает трение скольжения между поверхностью лент конвейеров и сыпучим материалом.

Для создания агрегата непрерывного действия с приемным бункером винограда и валково-выгружающими устройствами (механический сводообрушитель), гребнеотделителем и механизмом предварительного отбора самотека основное внимание было уделено разработке приемных бункеров такой конструкции, в которых сводообрушающие механизмы одновременно выполняли бы процесс дробления винограда и создавали рациональную основу поточного производства при высокой производительности. Днище бункера I (рис.16) представляет собой параллельно расположенные по всей плоскости бункера принудительно вращающиеся дробильные валки 2. Валки 2 выполняют обрушение сводов, а также операцию дробления и равномерной подачи дробленой массы на гребнеотделители 3 или шнеки 4. После въезда на приемную площадку 5 кузов 6 захватывается электрической талью 7, и виноград направляется в приемный бункер I. После дробления, если технология приготовления вина требует переработки винограда с гребнями, вышедшая из зазоров валков 2 дробленая масса самотеком через перфорированные стенки поступает в шнеки 4 (в это время перфорированный лоток 8 повернут вокруг шарнира и занимает вертикальное положение). Виноградный сок проходит сквозь перфорированные наклонные стенки 9 в ванны 10, а затем поступает в сборник II (сборник фр. I). Далее дробленая масса посредством шнеков 4 подается в приемные окна вертикальных шнеков 12. Шнеки снабжены перфорированными цилиндрами 13. По мере транспортировки в полости шнеков в зависимости от положения заслонок 14 осуществляется легкий отжим сусла. Сусло стекает в сборник II (сборник фр. II), сюда же поступает часть сусла из горизонтальных шнеков 4.

Если технология приготовления вина требует переработки винограда без гребней, то посредством лебедки 15 лоток 8 поворачивается

ся непрерывный сдвиг выпускной щели 3 в направлении, поперечном оси свода материала. Свод теряет часть опоры и обрушается. Щель 3 при своем движении пробегает всю площадь круга под цилиндром бункера I. Это обеспечивает за один оборот диска непрерывное истечение слоя материала толщиной, равной высоте свода по всей площади диска.

Бункер-дозатор с ленточно-конвейерными выгружающими устройствами состоит из прямоугольного бункера I (рис. I5), под которым вмонтированы последовательно горизонтально распо-

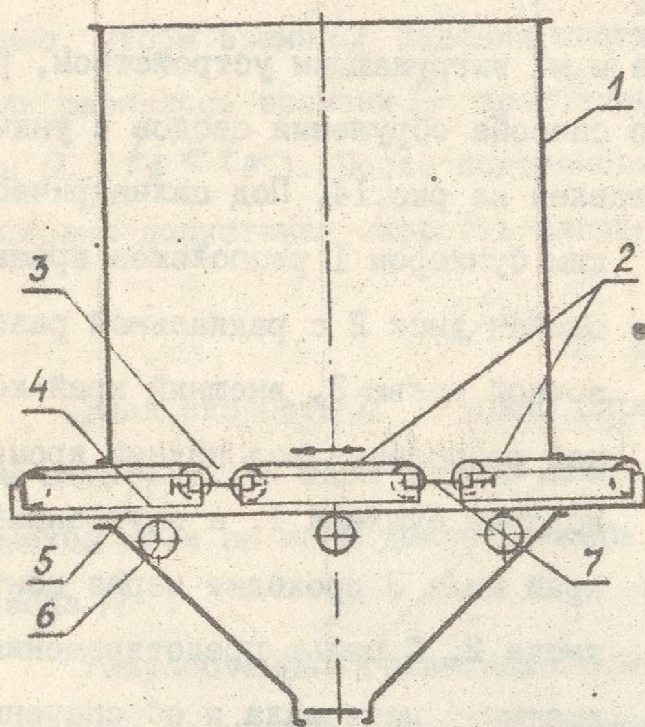


Рис. I5.

ложенные ленточные конвейеры 2, образующие между собой щели 3 по всей ширине бункера I. Верхние ветви лент конвейеров 2 неподвижны и собраны на рамах 4. Последние жестко связаны с общим каркасом 5, насаженным на опорные ролики 6. Натяжение лент конвейеров 2 и регулирование площади сечений щелей 3 осуществляется с помощью винтов 7 и смещением рам 4 относительно каркаса 5. При перемещении ленточных конвейеров 2 соответственно смещаются щели 3. При-

жатие (крепление) лент конвейеров 2 к нижним кромкам продольных стенок бункера I обеспечивает при смещении конвейеров надвигание ленты с одной стороны каждой щели 3 и свертывание - с другой. Таким образом, при перемещении щелей 3 в направлении, поперечном к оси образовавшихся сводов материала, своды теряют часть опоры, обрушиваются, и материал проходит в щели 3. Непрерывный сдвиг щелей 3 вызывает непрерывное образование и разрушение сводов. Такое выполнение системы

ленточных конвейеров исключает трение скольжения между поверхностью лент конвейеров и сыпучим материалом.

Для создания агрегата непрерывного действия с приемным бункером винограда и валково - выгружающими устройствами (механический сводообрушитель), гребнеотделителем и механизмом предварительного отбора самотека основное внимание было уделено разработке приемных бункеров такой конструкции, в которых сводообрушающие механизмы одновременно выполняли бы процесс дробления винограда и создавали рациональную основу поточного производства при высокой производительности. Днище бункера I (рис. I6) представляет собой параллельно расположенные по всей плоскости бункера принудительно вращающиеся дробильные валки 2. Валки 2 выполняют обрушение сводов, а также операцию дробления и равномерной подачи дробленой массы на гребнеотделители 3 или шнеки 4. После въезда на приемную площадку 5 кузов 6 захватывается электрической талью 7, и виноград направляется в приемный бункер I. После дробления, если технология приготовления вина требует переработки винограда с гребнями, вышедшая из зазоров валков 2 дробленая масса самотеком через перфорированные стенки поступает в шнеки 4 (в это время перфорированный лоток 8 повернут вокруг шарнира и занимает вертикальное положение). Виноградный сок проходит сквозь перфорированные наклонные стенки 9 в ванны 10, а затем поступает в сборник II (сборник фр. I). Далее дробленая масса посредством шнеков 4 подается в приемные окна вертикальных шнеков 12. Шнеки снабжены перфорированными цилиндрами 13. По мере транспортировки в полости шнеков в зависимости от положения заслонок 14 осуществляется легкий отжим сусла. Сусло стекает в сборник II (сборник фр. II), сюда же поступает часть сусла из горизонтальных шнеков 4.

Если технология приготовления вина требует переработки винограда без гребней, то посредством лебедки 15 лоток 8 поворачивается

вокруг шарнира так, чтобы дробленая масса по наклонной поверхности лотка (как это показано на рис. I6) поступала в гребнеотделители 3. Отделенные гребни через наклонные лотки выгружаются из агрегата и удаляются ленточным конвейером I6.

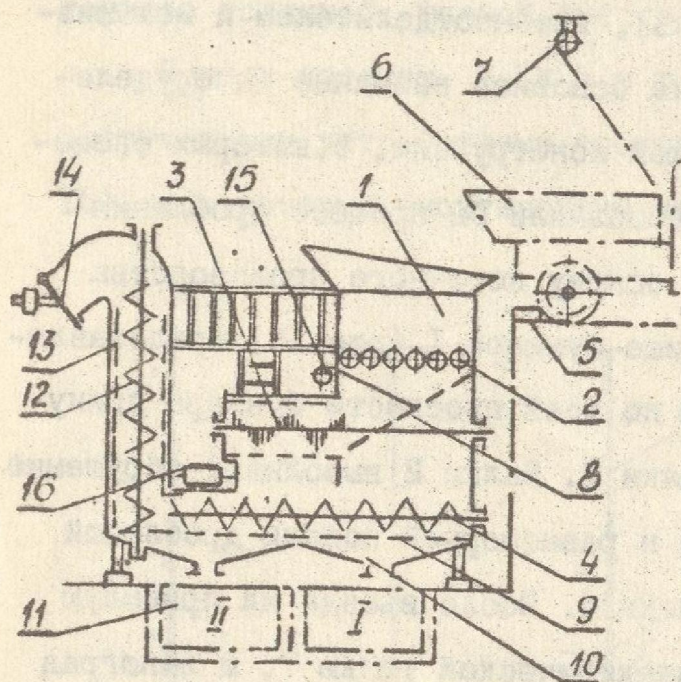


Рис. I6.

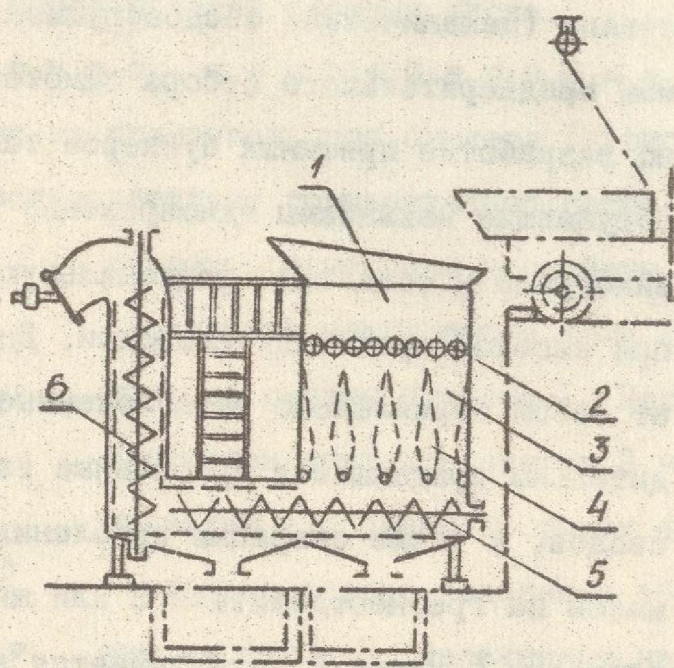


Рис. I7.

С целью получения максимального количества сусла разработан второй вариант установки непрерывного действия, где не предусматривается отделение гребней. Агрегат непрерывного действия с приемным бункером винограда, валько-выгружающими устройствами и механизмом предварительного отбора самотека состоит из следующих основных узлов (рис. I7): приемного бункера I с дробилкой 2, камеры предварительного отбора самотека 3 с дренажными секциями 4, горизонтального шнекового стекателя 5 и вертикального шнекового стекателя 6.

В шестой главе описаны также разработанные и внедренные бункерные устройства, работающие на основе гравитационного и механического способов обрушения сводов. Изложено теоретическое исследование максимально допустимой скорости движения выгружающих ус-

тройств и их производительности, а также энергоемкости.

В седьмой главе "Создание саморазгружающегося транспортного средства для сельскохозяйственных насыпных продуктов" приведено описание разработанного на основе теоретических исследований самоопрокидывающегося автокузова.

Задачей теоретического исследования являлась проверка полноты самопроизвольного опорожнения кузова и определение длительности разгрузочного процесса для заранее подобранных форм и размеров кузова, профилей криволинейного днища кузова и наклонных направляющих. Процесс опорожнения кузова протекает в 3 этапа: 1-й этап - опрокидывание кузова с грузом как единого целого без относительно-го смещения груза; 2-й этап - высыпание груза из кузова со скольжением по плоскостям внутренних сдвигов; 3-й этап - высыпание остатков груза со скольжением сыпучего материала по днищу кузова.

Для всех этапов опорожнения расчетные параметры определены приближенным численным методом. Общий угол опрокидывания δ_n делится на равные части $\Delta\delta$, а весь процесс опрокидывания - на отдельные периоды, каждый из которых соответствует повороту кузова на угол величиной $\Delta\delta$ (ориентировочно $\Delta\delta \leq 1^\circ$). При повороте на угол $\Delta\delta$ силы и ускорения принимаются постоянными. Чем меньше значение $\Delta\delta$, тем точнее решение.

Кривизна днища кузова I (рис.18), наклон направляющих 7, а также вес и емкость кузова I выбраны таким образом, что центр тяжести (ЦТг) груженого кузова в транспортном положении расположен справа от точки O_1 опоры кузова I на направляющие 7, а центр тяжести (ЦТп) порожнего кузова I расположен слева от точки O_1 в том же положении и также слева от точки опоры O_n в опрокинутом положении. Замки 3,6 фиксируют кузов как в транспортном, так и в опрокинутом положении. С обеих сторон кузова расположены жесткие тяги 8. Конец каждой тяги шарнирно закреплен на днище кузова I, другой - на наклонной опоре 7.

При разгрузке водитель рычагом 2 освобождает замки 3,5 в гнездах поддерживающих упоров 4,6 и вследствие того, что ЦТг груженого кузова I расположен справа от точки O_1 , кузов I опрокидывается с одновременным высыпанием материала. Когда кузов I достигает максимального угла опрокидывания, замки 5 поворачиваются посредством пружины 9 и заклиниваются в гнездах упоров 6 (рис.18).

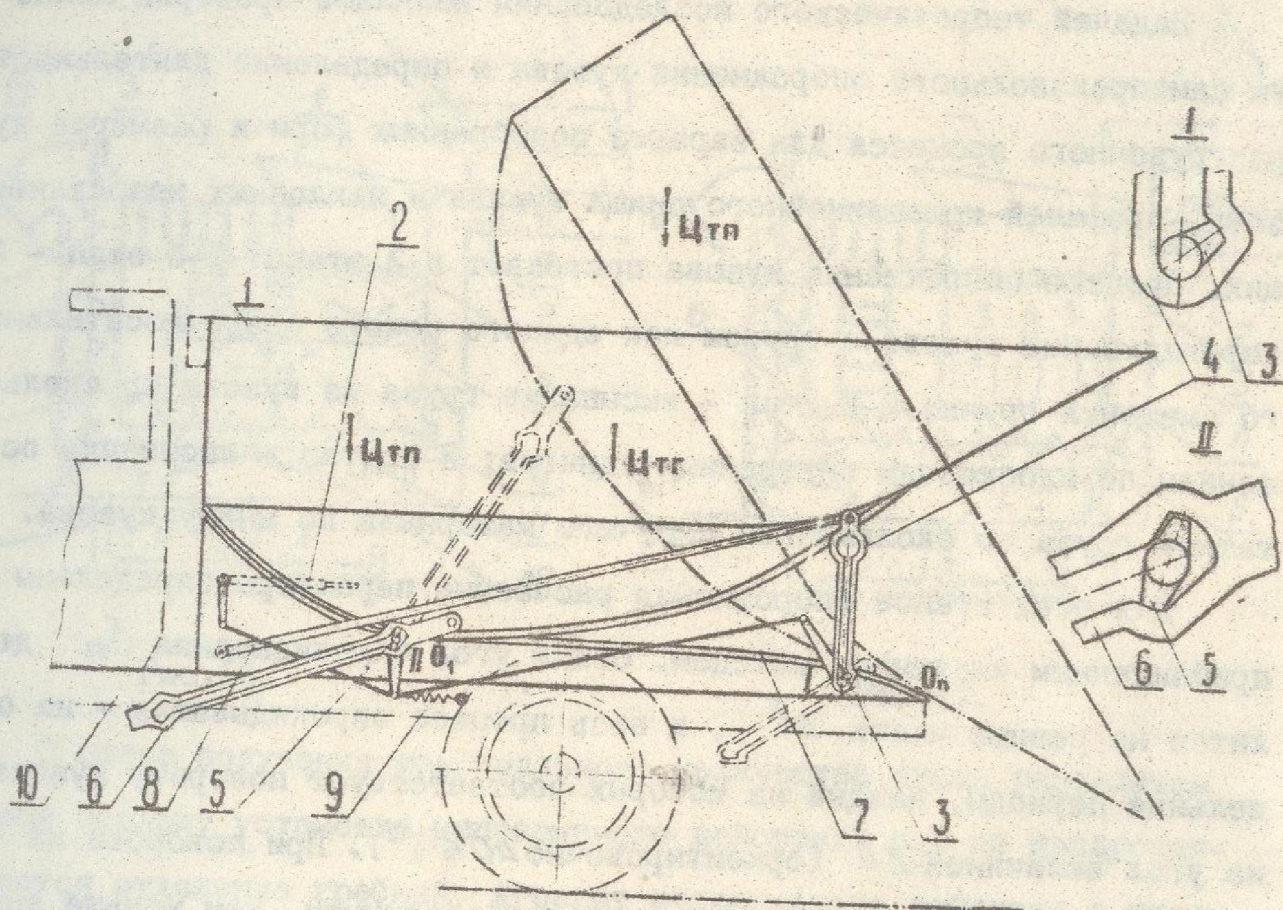


Рис.18.

После разгрузки рычагом 2 поворачиваются замки 3 и 5. Так как ЦТг кузова I смещен от точки O_n опор 7 влево, кузов перекачивается на опорах 7 в противоположном направлении и фиксируется на раме 10 автомобиля.

В восьмой главе "Разработка технологических линий бестарного хранения чая, приема и переработки винограда" изложены принципы проектирования поточно-механизированных линий переработки полуфабриката чая и винограда.

Созданные бункерные устройства обеспечили возможность разработки поточно-механизированных линий, исключающих трудоемкие операции, связанные с погрузочно-разгрузочными работами полуфабриката и готовой продукции чая.

Линия переработки полуфабриката чая включает следующие операции: транспортирование фракций полуфабриката из сушильного отделения, раздельное хранение фракций в бункерах, дозированную подачу материала из бункеров на сортировочную машину, хранение отсортированных чаев в бункерах, транспортирование отсортированных чаев заданной массы и определенного качества на операцию купажа, фасовку и т.д. Для таких линий разработаны вопросы автоматизации цеха переработки полуфабриката чая и поставлена задача о создании автоматизированной системы управления технологическими процессами цеха.

Разработанные приемные бункера с валково-выгружающими устройствами обеспечивают прием винограда, дробление стекание в одном агрегате, что в целом создает рациональную основу для механизированного и автоматизированного цеха переработки винограда.

Технологические линии бестарного хранения чая, приема и переработки винограда дают значительный технико-экономический эффект.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Для случая полярно-симметричного истечения составлена в общем виде замкнутая система дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающая поля скоростей и напряжений в зоне активного истечения, а также границу с зоной питания.

2. Для случая трубообразного истечения на основании анализа кинематики движения частиц и теории предельного равновесия получены общие выражения для определения нормальных и касательных напряжений в активной зоне истечения.

3. Получены аналитические выражения для расчета критических размеров выпускного отверстия и высоты свода бункеров с плоским и наклонными днищами.

4. Определены физико-механические свойства чая и винограда, найдены закономерности их изменения в зависимости от давления, гранулометрического состава и т.п.

5. Получены закономерности истечения чайного материала и винограда. Установлено, что в зависимости от свойств материала, формы и геометрических параметров бункера над выпускными отверстиями образуются три характерные формы активных зон истечения. В поперечном сечении бункера эти активные зоны ограничены лемнискатой, параболой или двумя параллельными прямыми (трубообразное истечение).

6. Получены формулы расхода сыпучего материала и скоростей в активных зонах истечения различной формы.

7. Найдены корреляционные зависимости между физико-механическими свойствами (коэффициент внутреннего трения, объемная масса, высота вертикальной свободно стоящей стенки и степень сыпучести) и характеристиками процесса истечения (размер выпускного отверстия, угол наклона стенок и высота свода).

8. Установлено, что для бункеров с наклонными стенками влияние угла их наклона к горизонту β на критическое значение размера выпускного отверстия начинает сказываться лишь с некоторого определенного значения $\beta = \beta_*$, зависящего от физико-механических свойств материала.

9. Установлено, что критический размер выпускного отверстия увеличивается с возрастанием высоты слоя материала в бункере до определенной величины, после которой дальнейший рост высоты несущественно влияет на размер выпускного отверстия.

10. Показано, что бункера с наклонными стенками обеспечивают

более эффективное истечение, чем бункера с плоскими днищами, так как у последних критические размеры выпускных отверстий больше.

II. Установлено, что большей объемной массе и меньшей связности чая соответствует больший коэффициент истечения, а следовательно, и большая скорость истечения.

12. Профили сечения сводов аппроксимируются параболой, высота которой растет с увеличением размера выпускного отверстия и убывает с увеличением связности материала. Установлено, что более прочные своды соответствуют материалам с меньшим коэффициентом истечения.

13. Для трудносыпучих материалов (фр. III полуфабриката чая) характерным является образование устойчивых сводов, достигающих ширины 3-х м в производственных условиях.

14. Разработаны способы обрушения сводов трудносыпучих материалов, основанные на принципах удаления одной или двух опор свода (гравитационное обрушение) и механического воздействия в зонах сводообразования (механическое обрушение).

15. Гравитационные способы обрушения сводов обеспечивают непрерывную и дозированную выгрузку трудносыпучих материалов и меняют характер истечения материала из бункера, последовательно исключая неподвижные "мертвые" зоны.

16. Предложены инженерные методы расчета и конструирования бункерных устройств, на основе которых создана серия промышленных бункеров.

17. Испытаниями на трудносыпучих материалах (фр. III полуфабриката чая, мука) промышленных образцов бункеров, работающих на основе гравитационного способа обрушения сводов, установлено, что сводообрушающие устройства обеспечивают непрерывную и равномерную выгрузку материала, сохраняя его качественные показатели.

18. Испытаниями на трудносыпучих материалах (виноград, вино -

градные выжимки, измельченная древесина) промышленных образцов бункеров, работающих на основе механического способа обрушения сводов, установлено, что сводообрушающие устройства обеспечивают непрерывную и равномерную выгрузку материала из бункеров. Сводообрушающие устройства бункеров для винограда выполняют операцию дробления и создают рациональную основу для поточной переработки на последующих операциях технологического процесса.

19. Бункера, работающие на основе гравитационного и механического способов обрушения сводов, внедрены на предприятиях чайной, винодельческой и хлебопекарной промышленности Грузинской ССР.

20. Разработан, создан и испытан промышленный образец саморазгружающегося автокузова для сельскохозяйственных насыпных материалов (виноград, зерно, свекла и др.). Составлен алгоритм расчета параметров процесса опорожнения самопрокидывающегося автокузова.

21. Разработаны принципы проектирования технологических линий бестарного хранения чайного материала и испытаны поточные линии транспортировки, хранения и дозированной подачи материала в сортировочную машину первичных чайных фабрик.

22. Разработаны и испытаны поточные линии для комплексной переработки винограда (прием, дробление и стекание) в одном агрегате.

Основные результаты исследования опубликованы в следующих работах:

1. Залдастанишвили Н.К. О механизации сортировочного цеха чайных фабрик. - Чай, культура и производство. Тбилиси, 1964, сб. I(2), с. 9-19.
2. Залдастанишвили Н.К. Вопросы образования сводов и их устранение в питателе к сортировочному "Комбайну" байхового чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1965, сб. 2(5), с. 15-30.
3. Залдастанишвили Н.К. Определение степени сыпучести полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1966, сб. I(6), с. 60-70.
4. Залдастанишвили Н.К. Определение высоты вертикальной свобод-

но стоящей стенки, угла обрушения и коэффициента истечения полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1967, сб.2 (8), с.56-65.

5. Залдастанишвили Н.К. Определение наибольших сводообразующих квадратных отверстий для полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1967, сб.1(7), с.13-27.

6. Залдастанишвили Н.К. Коэффициенты статического и динамического уплотнения полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1968, сб.1(9), с.45-56.

7. Залдастанишвили Н.К. Прибор и методика для определения коэффициентов внешнего и внутреннего трения сухого чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1969, сб.1(11), с.8-17.

8. Залдастанишвили Н.К. Коэффициенты внешнего трения полуфабриката и готовой продукции чая о различные материалы. - Труды ГПИ им. В.И.Ленина, Тбилиси, 1969, №3(131), с.138-144.

9. Залдастанишвили Н.К. Коэффициенты внутреннего трения полуфабриката и готовой продукции чая. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1969, № 4 (132), с.127-131.

10. Залдастанишвили Н.К. Влияние коэффициента внутреннего трения на некоторые параметры истечения полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1970, сб.2(12), с.37-44.

11. Залдастанишвили Н.К. Исследование корреляции между механическими параметрами полуфабриката и готовой продукции чая. - Труды XV научно-технич.конференции ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, вып.11, с.68-74.

12. А.с. 271085 (СССР). Прибор для определения коэффициентов внешнего и внутреннего трения /Н.К.Залдастанишвили. -Опубл. в Б.И., 1970, №17.

13. Залдастанишвили Н.К. Корреляционные связи между некоторыми характеристиками и закономерностями истечения чайного материала из бункеров с отверстиями прямоугольного сечения. -Труды ГПИ им. В.И.Ленина, Тбилиси, 1971, №1 (141), с.164-170.

14. Залдастанишвили Н.К. Графо-аналитический метод определения угла естественного откоса полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1971, сб.2(16), с.60-66.

15. Залдастанишвили Н.К. К вопросу хранения, дозирования полуфабриката и отсортированных чаев. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1972, сб.1(17), с.78-83.

16. Залдастанишвили Н.К. Поточно-механизированная линия цеха переработки полуфабриката чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1972, сб.2 (18), с.47-55.

17. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Влияние размеров выходных отверстий истечения на характер образования сводов полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1972, сб.2 (18), с.69-81.

18. Залдастанишвили Н.К., Саралидзе Б.Э. Изменение угла естественного откоса винограда в зависимости от статической нагрузки. - Виноделие и виноградарство СССР, 1972, №7, с.54-56.

19. Залдастанишвили Н.К., Боколишвили Б.И., Чичуа И.В. О взаимодействии частиц измельченной древесины. - Лесная промышленность, 1973, №12, с.28-29.

20. Залдастанишвили Н.К., Жгенти Р.А. Определение начального сопротивления сдвигу и угла внутреннего трения виноградной мезги в стадии прессования. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1973, №7, (163), с.190-194.

21. Залдастанишвили Н.К., Каландадзе Т.И., Хвтисиашвили Г.Д. Приемный бункер в механизированной линии переработки виноградной выжимки. - Виноделие и виноградарство СССР, 1973, №5, с.51-52.

22. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Коэффициенты внешнего и внутреннего статического трения полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1973, сб.1 (19), с.107-112.

23. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Некоторые механические свойства полуфабриката и готовой продукции чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1973, сб.2 (20), с.15-25.

24. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Влияние высоты слоя сухого чая на характер образования сводов. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1973, №7 (163), с.175-179.

25. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Экспериментальная установка и методика для определения основных параметров истечения сыпучих материалов. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1973, №1 (157), с.179-183.

26. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Влияние угла наклона стенки бункера на характер образования свода сухого чая. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1973, №7 (163), с.180-184.

27. А.с. 382410 (СССР). Способ хранения полуфабриката чая /А.Н.Калашвили, Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1973, №23.

28. А.с. 386990 (СССР). Устройство для отделения сусла от мезги /Н.К.Залдастанишвили, А.Д.Курдадзе, Б.Э.Саралидзе. - Оpubл. в Б.И., 1973, №27.

29. А.с. 387691 (СССР). Устройство для хранения и подачи чайного полуфабриката в сортировочную машину /Н.К.Залдастанишвили. -

Опубл. в Б.И., 1973, №28.

30. А.с. 389772 (СССР). Линия для переработки полуфабриката байхового чая /Н.К.Залдастанишвили, А.Н.Какалашвили. - Опубл. в Б.И., 1973, № 30.

31. Залдастанишвили Н.К. К вопросу автоматизации весового дозирования и купажа отсортированных чаев. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1974, сб. I (21), с.99-106.

32. Залдастанишвили Н.К., Боколишвили Б.И., Чичуа И.В. Влияние влажности и фракции измельченной древесины на коэффициент внешнего трения движения. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1974, № 2 (166), с.100-107.

33. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Исследование скорости гравитационного истечения сухого чая из бункеров. - Сообщение АН СССР, 1974, №3, 75, с.665-668.

34. Залдастанишвили Н.К., Курдадзе А.Д., Жгенти Р.А. Фрикционные показатели виноградной мезги в процессе прессования. - Техн. информация, Виноделие, Тбилиси: ГрузНИИНТИ и ТЭИ, 1974, №2. - 11с.

35. Залдастанишвили Н.К., Курдадзе А.Д., Саралидзе Б.Э. Приемный бункер с дробилкой винограда, гребнеотделителем и устройством предварительного отбора самотека. - Виноделие и виноградарство СССР, 1974, №1, с.31-34.

36. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Математическое описание основных зон истечения сухого чая из бункеров. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1974, №1 (21), с.69-75.

37. Залдастанишвили Н.К., Саралидзе Б.Э. Основы расчета приемных бункеров винограда для заводов первичного виноделия. - Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1974. - 106 с.

38. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Установление основных зон истечения сухого чая в щелевых бункерах. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1974, сб. 2 (22), с.54-59.

39. Залдастанишвили Н.К., Чичуа И.В., Заводская М.В. Влияние собственного веса на объемную массу измельченной древесины. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1974, №2 (166), с.90-94.

40. А.с. 443064 (СССР). Устройство для отделения сусла от мезги /А.Д.Курдадзе, Н.К.Залдастанишвили, Б.Э.Саралидзе. - Опубл. в Б.И., 1974, №34.

41. Залдастанишвили Н.К. Автоматизация поточной линии транспортировки и хранения полуфабриката чая. - Чай, культура и производство, Тбилиси, 1975, сб.2 (24), с.59-67.

42. Залдастанишвили Н.К., Боколишвили Б.И., Чичуа И.В. Коэффициенты статического трения измельченной древесины. - Лесная промышленность, 1975, №4, с.27-28.

43. Залдастанишвили Н.К., Бояджян Н.М. Некоторые физико-механические свойства винограда. - Виноделие и виноградарство СССР, 1975, №8, с.44-45.

44. Залдастанишвили Н.К., Бояджян Н.М. Изменение объемной массы винограда под действием статической нагрузки. - Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии, 1975, №5, с.29-32.

45. Залдастанишвили Н.К., Келбакиани И.Ш. О производительности горизонтального шнекового питателя. - Сообщ. АН ГССР, 1975, 78, №3, с.641-644.

46. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Определение размеров максимальных сводообразующих отверстий для сухого чая методом математического планирования экспериментов. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1975, №1 (174), с.219-225.

47. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Влияние некоторых параметров бункера и вида сухого чая на основные зоны истечения. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1975, №1 (174), с.211-218.

48. А.с. 502025 (СССР). Установка для получения сусла из винограда /Н.К.Залдастанишвили, Н.М.Бояджян, Р.Д.Меладзе, - Оpubл. в Б.И., 1976, №5.

49. Залдастанишвили Н.К., Мегрелидзе Т.Я. Влияние геометрических параметров бункера на скорость истечения сухого чая. - Труды ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1977, №10 (201), с.88-92.

50. Залдастанишвили Н.К., Бояджян Н.М., Аракелян В.Т. Устройство для приема и переработки винограда. - Виноделие и виноградарство СССР, 1978, №4, с.46.

51. А.с. 590194 (СССР). Питатель для сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили, И.Ш.Келбакиани, Г.Г.Жвания. - Оpubл. в Б.И., 1978, №4.

52. А.с. 598821 (СССР). Способ разгрузки сыпучих материалов из бункера /Г.Г.Жвания, Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1978, №11.

53. А.с. 598822 (СССР). Бункер для хранения и дозированной выдачи сыпучих материалов /Г.Г.Жвания, Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1978, №11.

54. А.с. 610758 (СССР). Питатель для сыпучих материалов /Г.Г.Жвания, Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1978, №22.

55. А.с. 610693 (СССР). Транспортное средство /Н.К.Залдастанишвили, А.Д.Курдадзе, Р.Д.Меладзе. - Оpubл. в Б.И., 1978, №22.

56. А.с. 622731 (СССР). Устройство для выгрузки сыпучих материалов из бункера /Н.К.Залдастанишвили, А.Д.Курдадзе. - Оpubл. в Б.И., 1978, №33.

57. А.с. 661007 (СССР). Пресс-стекатель /Н.К.Залдастанишвили, Р.Д.Меладзе, Н.М.Бояджян. - Оpubл. в Б.И., 1979, №17.
58. А.с. 662386 (СССР). Транспортное средство /Н.К.Залдастанишвили, А.Д.Курдадзе, Р.Д.Меладзе. - Оpubл. в Б.И., 1979, №18.
59. А.с. 673544 (СССР). Бункер для хранения и выдачи сыпучего материала /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1979, №26.
60. А.с. 698883 (СССР). Устройство для хранения и дозированной выдачи сыпучих материалов из бункера / Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1979, №43.
61. А.с. 718335 (СССР). Питатель для сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №8.
62. А.с. 722804 (СССР). Бункер для хранения и дозированной выгрузки сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №11.
63. А.с. 734109 (СССР). Устройство для выгрузки сыпучих материалов из бункера /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №18.
64. А.с. 742280 (СССР). Бункер для сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №23.
65. А.с. 751722 (СССР). Устройство для хранения и подачи чайного полуфабриката в сортировочную машину /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №28.
66. А.с. 751758 (СССР). Способ гравитационной разгрузки сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №28.
67. А.с. 753720 (СССР). Бункер для хранения и выгрузки сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №29.
68. А.с. 755731 (СССР). Устройство для выгрузки сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №30.
69. А.с. 757400 (СССР). Бункер для хранения и дозированной выдачи сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Оpubл. в Б.И., 1980, №31.
70. Залдастанишвили Н.К. Разработка и внедрение самопрокидывающегося автокузова. - Тезисы докладов XXIII Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1981, с.34.
71. Залдастанишвили Н.К., Качарава О.С. Разработка и внедрение дозатора муки к тестомесильной машине. - Тезисы докладов XXIII Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава ГПИ им.В.И.Ленина, Тбилиси, 1981, с.33.
72. А.с. (№ заявки 2634001/27-13, СССР). Бункер для хранения и дозированной выдачи сыпучих материалов /Н.К.Залдастанишвили. - Положительное решение к авторскому свидетельству от 18 мая 1979г.

Н. Залдастанишвили