



005019355

*На правах рукописи*

**МАКАРОВ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАСФАСОВКИ  
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В МЯГКУЮ ТАРУ  
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Специальность: 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы)»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**26 АПР 2012**

**Волгоград – 2012**

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
*Сердобинцев Юрий Павлович*

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
*Султан-заде Назим Музаффарович*  
(ФГБОУ ВПО Московский  
государственный индустриальный  
университет, профессор);

доктор технических наук, профессор  
*Гольцов Анатолий Сергеевич*  
(Волжский политехнический институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО Волгоградского  
государственного технического  
университета, зав. кафедрой «Автоматика,  
электроника и вычислительная техника»)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Волгоградский  
государственный аграрный университет»

Защита состоится « 16 » мая 2012 г. в 16 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.142.03 при ФГБОУ ВПО Московском государственном технологическом университете «Станкин» по адресу: 127994, г. Москва, Вадковский пер., д. 3а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Московского государственного технологического университета «Станкин».

Автореферат разослан « 13 » апреля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.142.03,  
кандидат технических наук, доцент



Е.Г. Семячкова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В настоящее время процессы дозирования, упаковки и транспортировки сыпучих материалов (СМ) занимают одно из ведущих мест в отраслях пищевой, химической, металлургической промышленности, в строительстве и сельском хозяйстве. По данным Федеральной службы государственной статистики РФ ежегодно в России всеми видами транспорта перевозится более 9 млрд. тонн грузов. Из них около половины – сыпучие материалы. Транспортировка большинства СМ в открытом виде (зерновые культуры и крупы, минеральные удобрения, химические вещества, строительные материалы и смеси и т.п.) приводит к их порче, снижению качества, прямым потерям, ухудшению экологического состояния. Поэтому они требуют защиты от атмосферного воздействия, перевозятся в крытых транспортных средствах и хранятся на специально оборудованных закрытых складах.

Важным этапом в транспортно-технологических схемах доставки СМ от производителя к потребителю является процесс их расфасовки. Для этого используют специальные виды потребительской (коробки, пачки, пакеты, банки) и транспортной (гибкие контейнеры, бочки, барабаны) тары. Сыпучие материалы чаще всего упаковывают в транспортную мягкую тару (МТ) в виде гибких контейнеров (ГК), вместимость которых (5-50 кг) ограничена физическими возможностями человека.

Открытые гибкие контейнеры из различных материалов (полипропиленовой нити, льняного, джутового, пенькового волокна и т.д.) – сложная с точки зрения автоматического манипулирования, мягкая тара непостоянной формы, материал которой пропускает воздух. Кроме того, они требуют прошивки горловины сразу после наполнения для сохранения продукции при транспортировке. На линиях расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры их захват, раскрытие и подача под патрубков дозирующего устройства выполняется вручную. Сыпучие вещества часто сильно пылящие, иногда взрывоопасные и токсичные. Для человека присутствие на операциях расфасовки такой продукции вредно для здоровья, трудоемко, утомительно и травмоопасно. Поэтому целью диссертационной работы является повышение эффективности технической системы автоматической расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие **основные задачи:**

1. Произведен системный и сравнительный анализ существующих устройств и способов автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару.

2. Разработаны математические модели для определения кривой провисания горловины гибких контейнеров, лежащих горизонтально и нахождения усилий удержания открытых контейнеров с помощью захватных устройств при их наполнении сыпучим материалом.

3. На основе функционально-структурного анализа спроектированы конструкции рычажно-шарнирных захватных устройств для автоматического раскрытия и удержания гибких контейнеров и конструкции автоматических линий расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару.

4. Разработана методика и программный комплекс автоматизированного расчета основных параметров захватных устройств и автоматических линий для наполнения мягкой тары стандартных размеров сыпучими материалами.

5. Реализована программа управления работой расфасовочного комплекса, состоящего из нескольких автоматических линий и позволяющая выполнять заказы потребителей в изменяющихся условиях рынка.

**Методы исследования.** Исследования в диссертационной работе проводились на основе математических методов вариационного исчисления и прикладной механики, структурно-функционального, математического и компьютерного моделирования, методов экспериментальных исследований и статистической обработки экспериментальных данных.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Установлены зависимости между размерами и формой гибких контейнеров, типом и свойствами сыпучего материала и основными параметрами захватных устройств для раскрытия и удержания гибких контейнеров при наполнении.

2. Разработаны математические модели для определения кривой провисания горловины гибких контейнеров, лежащих горизонтально и нахождения усилий удержания открытых контейнеров с помощью захватных устройств при их наполнении сыпучим материалом.

3. На основе полученных математических моделей построена методика расчета основных параметров захватных устройств для тары различного типа и размера, реализованная в виде программного комплекса на языке Delphi.

**Достоверность полученных результатов и выводов** обеспечивается корректностью математической постановки задач, использованием известных математических методов их решения, адекватностью и сходимостью результатов теоретического и экспериментального исследований.

**Практическая ценность и реализация результатов работы.**

1. Предложено семейство конструкций рычажно-шарнирных захватных устройств для автоматического раскрытия и удержания гибких контейнеров при наполнении сыпучим материалом с возможностью последующего растягивания их горловины в линию для прошивки.

2. Сконструированы автоматические линии расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры и разработан программный комплекс расчета основных параметров автоматических линий для тары различного размера.

3. Разработаны алгоритм и программа управления расфасовочным комплексом, состоящим из одной или нескольких автоматических линий, позволяющие формировать заказы потребителей на упаковку различных пищевых сыпучих материалов в гибкие контейнеры стандартных размеров.

Полученные результаты рекомендуется использовать в отраслях пищевой, химической промышленности, в строительстве и сельском хозяйстве при автоматизации процесса расфасовки зернистых и порошковых сыпучих материалов в гибкие контейнеры с открытой горловиной вместимостью от 5 до 50 кг. Результаты диссертационной работы внедрены на линии расфасовки пищевых сыпучих продуктов в открытые гибкие контейнеры вместимостью 50 кг в зернохранилищах ООО «Нива» и других агропромышленных предприятий, а также в учебный процесс кафедры «Строительных материалов и специальных технологий» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета и используются при подготовке студентов по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на научных конференциях, семинарах, форумах и выставках, среди которых: VII Международная конференция «Техника и технология сборки машин» (г. Жешув, г. Цисна, Польша, 2011), Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта» (г. Севастополь, Украина, 2009), XX и XXI Международные Интернет-ориентированные конференции молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения «МИКМУС-2008» и «МИКМУС-2009» (г. Москва), Международная научно-техническая конференция «Автоматизация: проблемы, идеи, решения» (г. Севастополь, Украина, 2009), XXII Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2010 «Будущее машиностроения России» (г. Москва), III и IV международные научные конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке» (г. Ставрополь, 2009, 2010), Международный научно-технический семинар «Прогрессивные сборочные процессы в машиностроении» (г. Волгоград, 2009), XII и XV региональные конференции молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 2007, 2010), Региональный конкурс инновационных разработок молодых ученых «Инновационные идеи молодежи – агропромышленному комплексу!» (г. Волгоград, 2010), XXI Специализированная выставка «Агропромышленный комплекс» (г. Волгоград, 2011), форум «Пищевая индустрия» (г. Волгоград, 2010, 2011), промышленная выставка – форум «Металлообработка. Машиностроение. Сварка. Автоматизация. Приборостроение» (г. Волгоград, 2010) и др. Часть научных исследований в диссертации выполнена при финансовой поддержке гранта молодых ученых ВолГУ 2010.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 20 научных работах общим объемом 4 п.л., среди которых 4 статьи в журналах из действующего перечня ВАК РФ. Новизна конструкций предлагаемых устройств и алгоритмов подтверждена патентом на изобретение [5], патентом на полезную модель [6], свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ [7] и заявкой на патент РФ №2011122137 от 31.05.2011.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения и 4 глав. Основные результаты и выводы сформулированы в заключении. Работа содержит 173 страницы машинописного текста, в том числе 50 рисунков, 9 таблиц и 6 приложений общим объемом 40 страниц. Список использованной литературы включает 191 источник.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен обзор сыпучих материалов, широко используемых в различных видах экономической деятельности: промышленном производстве, сельском хозяйстве, оптовой и розничной торговле, а также повседневной жизни человека. Номенклатура СМ неуклонно растет. Они различаются по составу, свойствам (объемная масса, плотность, влажность, твердость частиц, угол естественного откоса и т.д.) и ряду других признаков. Многие СМ при обработке, расфасовке и транспортировке истираются и пылят. У некоторых из них (сахарная пудра, мука, уголь, сера и др.) эта пыль, находясь во взвешенном состоянии в воздухе, способна к воспламенению и взрыву. Некоторые СМ токсичны и вредны для человека.

Наиболее часто сыпучие материалы упаковывают в мягкую потребительскую и транспортную тару (гибкие контейнеры, «биг-беги», пакеты, эластичная пленка). Гибкие контейнеры в виде рукава из тканого материала, прошитого или проклеенного с одной стороны, вместимостью 5-50 кг – самая распространенная мягкая транспортная тара. При этом задача автоматизации процесса наполнения ГК осложняется тем, что они имеют непостоянную форму, материал которой обычно пропускает воздух, а после наполнения их горловину необходимо прошивать.

Вопросы автоматизации машиностроительных процессов и производств в целом, оптимизации структуры автоматических линий, обеспечения эффективности управления технологическими процессами и производствами на протяжении всего жизненного цикла изделий изложены в работах Ю.М. Соломенцева, Н.М. Султан-заде, Е.Р. Ковальчука, М.Г. Косова, В.Г. Митрофанова, Ю.П. Сердобинцева и др.

Вопросы повышения эффективности производства СМ, улучшения их свойств и подготовки для потребления рассмотрены в работах А.Б. Демского, Махер Авди, А.А. Мурашова. Проблемы повышения эффективности дозирующих устройств изложены в работах А.В. Алексеева, Л.И. Товбина, С.А. Ефремова, А.А. Грибкова, С.Н. Григорьева и др. Последние провели исследования в области повышения точности и производительности весового порционного дозирования порошковых материалов. Устройства для раскрытия, удержания мягкой тары, ее закрепления на загрузочном патрубке предложили А.Г. Бюлер, Ю.А. Богачев, И.В. Ткаченко и др. Устройства для расфасовки

сыпучих материалов в мягкую тару разработаны В.И. Лошкаревым, В.М. Блохиным, А.Ф. Суворовым и т.д.

Анализ исследований в области расфасовки сыпучей продукции в мягкую тару показывает, что устройств, позволяющих полностью автоматизировать процесс наполнения открытых гибких контейнеров сыпучим материалом не существует. Наиболее часто неавтоматизированными остаются операции захвата и подачи мягкой тары на позицию наполнения, а также последующего закрытия ее горловины для прошивки. Для человека эти операции трудоемки, утомительны, вредны для здоровья и, поэтому, требуют полной автоматизации.

Вторая глава посвящена синтезу конструкций захватных устройств для гибких контейнеров из тканого материала. Описан модульный принцип построения автоматизированного комплекса расфасовки сыпучих материалов (рисунок 1), позволяющий выполнять дозирование и упаковку СМ с разными свойствами в ГК различного размера. Он основан на создании взаимозаменяемых элементов конструкций. При этом каждый модуль представляет собой изделие, способное работать самостоятельно.

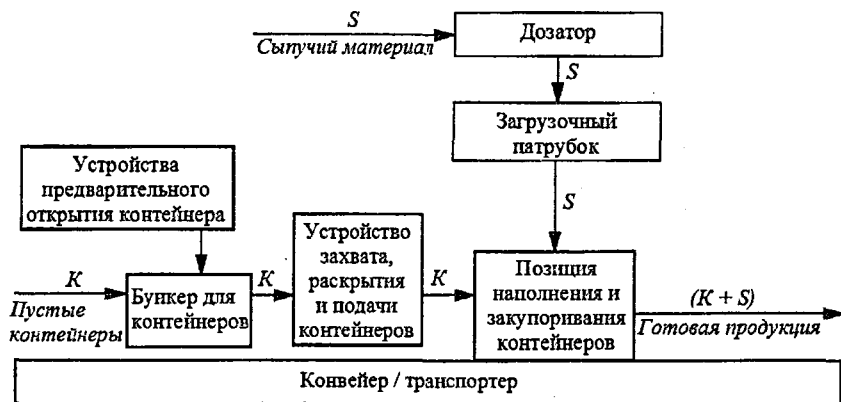
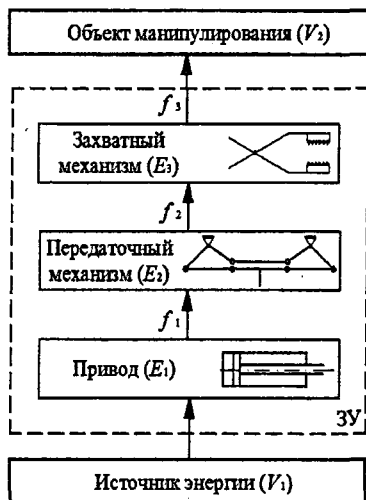


Рисунок 1. Модульная схема построения расфасовочных комплексов

Таким образом, расфасовочный комплекс может комплектоваться разными типами бункеров, дозаторов, устройств подачи гибких контейнеров, загрузочными и отводящими транспортёрами, дополнительными блоками. Устройства для предварительного открытия мягкой тары предназначены для ее поштучного отделения и открывания, что необходимо для последующего захвата, раскрытия и подачи тары на позицию расфасовки. На линиях расфасовки СМ в гибкие контейнеры они, как правило, отсутствуют и операции поштучного отделения тары выполняются вручную. Для автоматизации данных операций рационально применять пневматические исполнительные устройства.

Для захвата, раскрытия и удержания мягкой расфасовочной тары при наполнении могут быть использованы различные захватные устройства (ЗУ). При этом общими требованиями к ним являются высокая надежность захвата и удержания, максимальная простота конструкции, возможность работы в агрессивных, запыленных и взрывоопасных средах. В основу



разработки подобных устройств положен функционально-структурный подход. Захватные устройства для мягкой тары можно представить состоящими из 3 основных функциональных элементов: захватный механизм, передаточный механизм и привод (рисунок 2). Каждый элемент выполняет определенные функции  $f$ . ЗУ также могут оснащаться дополнительными устройствами. Захватный (исполнительный) механизм является основным рабочим органом ЗУ, непосредственно взаимодействующим с объектом манипулирования. По способу удержания различают поддерживающие, притягивающие (удерживающие) и зажимные (схватывающие) ЗУ.

Рисунок 2. Функционально-структурная схема ЗУ для мягкой тары

Передачный механизм ЗУ необходим для передачи воздействия от привода к захватному механизму. Он может отсутствовать или быть совмещен с захватным механизмом и/или приводом. При синтезе ЗУ для мягкой тары в качестве передаточного механизма (ПМ) рационально использовать рычажно-шарнирный ПМ, который в раскрытом виде будет соответствовать форме горловины раскрытого гибкого контейнера. При этом рациональное количество его звеньев определяется исходя из количества точек удержания объекта, соответствия формы раскрытого ПМ форме сечения загрузочного патрубка, необходимого количества приводов и других элементов для управления движением ПМ. Из существующих типов привода в ЗУ для мягкой тары рационально использовать пневматический привод с простым подводом энергии, как наиболее распространенный, взрывобезопасный, способный работать в агрессивных средах и в зоне высоких температур.

На основе функционально-структурной схемы был произведен синтез конструкций захватных устройств для гибких контейнеров [5, 6]. Устройство [5] содержит рычажно-шарнирный передаточный механизм (РШМ) 1 (обведен пунктиром на рисунке 3) с захватами в виде пальцев 2, и привод их перемещения в виде пневматического цилиндра 3. Рычажно-шарнирный механизм состоит из четырех рычагов 4 и двух силовых миницилиндров 5,



попарно соединенных шарнирами 6 и имеет 3 рабочих положения. При выдвинутом штоке пневмоцилиндра 3 и втянутых штоках миницилиндров 5 пальцы 2 сложены, а крайние боковые из них находятся максимально близко друг к другу (расстояние  $L$  на рисунке 3а, Вид А), что обеспечивает их проникание внутрь горловины приоткрытого ГК. При выдвигании штоков миницилиндров 5 гибкий контейнер захватывается и удерживается пальцами 2.

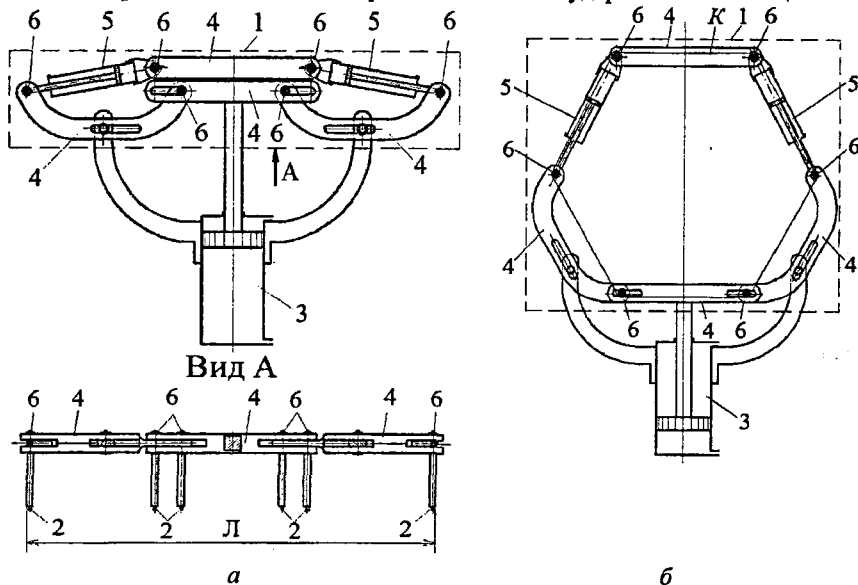


Рисунок 3. Рычажно-шарнирное захватное устройство (РШЗУ) в закрытом (а) и открытом (б) положениях

При втягивании штока пневмоцилиндра 3 рычажно-шарнирный механизм раскрывается, пальцы 2 занимают места в вершинах правильного выпуклого шестиугольника по периметру горловины раскрытого гибкого контейнера  $K$  (рисунок 3б), готового для наполнения. После этого втягивание штока пневмоцилиндра 3 закрывает горловину МГ и растягивает ее в линию для прошивки. Данные устройства могут быть использованы в качестве захватных устройств манипулятора, подающего ГК на позиции расфасовки и прошивки, и встраиваться в существующие расфасовочные линии для автоматизации процесса захвата, раскрытия и удержания гибких контейнеров при наполнении сыпучим материалом.

В третьей главе изложены вопросы теоретического и экспериментального обоснования работоспособности ЗУ для мягкой тары.

При открывании гибкого контейнера, лежащего в бункере горизонтально, пневматическими захватами его горловина провиснет, открывая внутреннюю полость для захвата ГК изнутри. При этом расстояние  $a$  между внешними краями захватов должно быть меньше ширины контейнера  $B$ .

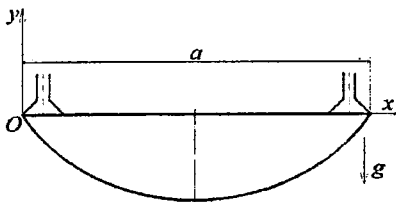


Рисунок 4. Схема провисания горловины приоткрытого гибкого контейнера

Причем контур внутренней полости приоткрытой горловины ГК можно изменять, задавая расстояние  $a$  между захватами, меняя их количество, диаметр и взаимное расположение.

Уравнение кривой провисания горловины ГК рассчитано методами вариационного исчисления в виде решения задачи провисания нити, свободно подвешенной с двух сторон в поле сил тяжести  $g$  (рисунок 4). При этом ее потенциальная энергия описывается выражением:

$$\Pi = \int_0^a \rho y \sqrt{1 + (dy/dx)^2} dx, \quad (1)$$

при длине провисшей части горловины гибкого контейнера:

$$L_g - a = \int_0^a \sqrt{1 + (dy/dx)^2} dx. \quad (2)$$

Здесь  $\rho$  – удельный вес единицы длины ткани гибкого контейнера,  $L_g = 2B$  – длина окружности его горловины.

Экстремум функционала (1) с учетом (2) достигается при условии:

$$Fy - \frac{d}{dx} Fy' = 0, \quad (3)$$

где  $F = \rho y \sqrt{1 + (dy/dx)^2} + \lambda \sqrt{1 + (dy/dx)^2}$ ,  $\lambda$  – неопределенный множитель.

Решая уравнение Эйлера (3) для условий (1) и (2), получаем:

$$\frac{(\rho y + \lambda)}{\sqrt{1 + (y')^2}} = C_1. \quad (4)$$

Уравнение (4) является дифференциальным уравнением кривой провисания нижней части горловины ГК, его решение имеет вид:

$$y = C_1 \operatorname{ch} \frac{x - C_2}{C_1} - \lambda, \quad (5)$$

где  $\operatorname{ch}(z)$  – гиперболический косинус функции,  $C_1, C_2$  – произвольные постоянные интегрирования, значения которых находятся из граничных условий для величин  $L_g$  и  $a$  решением системы уравнений для общего случая удержания ГК  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ , при длине провисшей части  $L_g - a$ .

Для частного случая удержания гибкого контейнера, показанного на рисунке 4, система уравнений для определения значений  $C_1, C_2$  и  $\lambda$  имеет вид:

$$\begin{cases} C_1 \operatorname{ch} \frac{-C_2}{C_1} - \lambda = 0; & (\text{при } x = 0 \rightarrow y = 0 - \text{левая точка подвеса}) \\ C_1 \operatorname{ch} \frac{a - C_2}{C_1} - \lambda = 0; & (\text{при } x = a \rightarrow y = 0 - \text{правая точка подвеса}) \\ C_1 \left( \operatorname{sh} \frac{a - C_2}{C_1} - \operatorname{sh} \frac{-C_2}{C_1} \right) = L_g - a. \end{cases} \quad (6)$$

Решая систему уравнений (6), используя графико-аналитические методы, имеем:  $C_2 = \frac{a}{2}$ ,  $\lambda = C_1 \operatorname{ch} \frac{a}{2C_1}$ .  $C_1$  определяется из трансцендентного уравнения:

$$\operatorname{sh} \frac{a}{2c_1} = \frac{Lg-a}{2c_1}. \quad (7)$$

Для подтверждения полученной теоретической зависимости кривой провисания был произведен расчет и построение данной кривой для горловины гибкого контейнера из полипропиленовой нити длиной  $L=0,95$  м и шириной  $B=0,56$  м при заданном значении  $a = 0,53$  м. Затем на основании опытов была получена экспериментальная кривая для ГК того же размера. Сравнение двух графиков позволяет судить об адекватности теоретической и экспериментальной модели, что подтверждается соответствием уравнений линии тренда, а также проверкой сходимости теоретических и экспериментальных результатов по критерию Пирсона ( $\chi^2$ ).

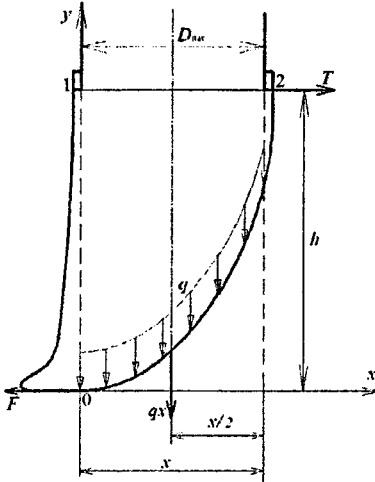


Рисунок 5. Схема к расчету давления сыпучего материала на стенки мягкой тары

После захвата мягкой тары с помощью РШЗУ она располагается под загрузочным патрубком и открывается. При этом ее основание находится на ленте транспортера, а горловина удерживается за счет распирающих усилий  $T$ , действующих со стороны пальцев РШЗУ (рисунок 5). Эти усилия  $T$  не должны превышать максимально допустимой (разрывной) нагрузки ткани ГК  $T_{\max}$ , но должны быть достаточными для удержания контейнера при наполнении, то есть превышать  $T_{\min}$  – минимально необходимое усилие для удержания ГК, которое может быть найдено, если известно давление со стороны сыпучего материала на стенки мягкой тары.

Выделим элемент контейнера, удерживаемого с помощью пальцев РШЗУ, при этом его сечение плоскостью, параллельной плоскости чертежа и проходящей через центральное продольное сечение загрузочного патрубка, будет иметь вид кривой 1-2 (рисунок 5). Представим этот элемент тары в виде гибкой нити постоянного сечения, вес которой распределен равномерно по ее длине. На нить действует равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $q$  (Н/м) в виде сыпучего материала, падающего из загрузочного патрубка в мягкую тару:

$$q = 9,81S_{\text{патр}}\rho, \quad (8)$$

где  $\rho$  - насыпная плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ ,  $S_{\text{патр}}$  - площадь сечения патрубка,  $\text{м}^2$ , свободно помещаемого внутрь горловины ГК. Оно имеет вид окружности, вписанной в шестиугольник РШМ, площадью:

$$S_{\text{патр}} = \frac{\pi D_{\text{нар}}^2}{4} = \frac{\pi B^2}{12}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8), имеем:  $q = 2,57\rho B^2$ . Из уравнения равновесия нити после некоторых преобразований получим:

$$F = \frac{qx^2}{2y}. \quad (10)$$

Сила  $F$  (горизонтальное натяжение нити) будет максимальной в точке 2 (рисунок 5). Ее величина определит минимальное необходимое усилие  $T_{\min}$  для удержания ГК в процессе его наполнения СМ. При этом  $x = D_{\text{пат}}$  – диаметр патрубка, а  $y$  – расстояние от загрузочного патрубка до ленты транспортера, из геометрических соображений:  $y = L - B/2$ , где  $L$  – длина контейнера, м. Подставляя в (10) установленные выше параметры, получим:

$$T_{\min} = \frac{0,86\rho B^4}{2L - B}. \quad (11)$$

При разработке конструкции рычажно-шарнирного захватного устройства определяющее значение имеет задание длин звеньев РШМ, которые зависят от максимально допустимого расстояния  $l$  между крайними пальцами, обеспечивающего свободное их проникание внутрь горловины приоткрытой мягкой тары. Оно может быть найдено из соотношения:  $l = a - 2x$ , где  $a$  – расстояние между крайними точками вакуумных захватов, а  $x$  определяется из выражения  $y(x) \geq b - \frac{d}{2}$  для диаметра пальцев  $d$  и линейного размера (ширины) звеньев  $b$  (их значения задаются конструктивно исходя из размеров тары и требуемой грузоподъемности РШЗУ), где  $y(x)$  определяется из уравнения кривой провисания горловины гибкого контейнера (5).

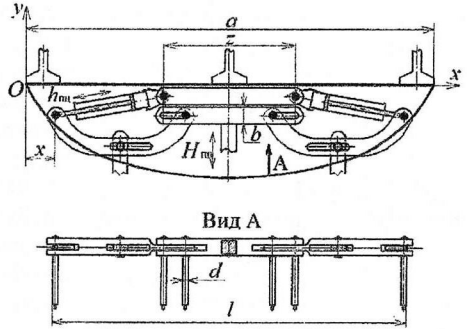


Рисунок 6. Схема к расчету параметров РШЗУ

Зная величины  $l$ ,  $d$  и  $b$  можно найти основные параметры звеньев, приводов и других элементов РШЗУ.

Например, расстояние между осями пальцев звена (длина звена):

$$z = \frac{1}{6}(2B - \pi d + \Delta B), \quad (12)$$

где  $\Delta B$  – допуск на ширину гибкого контейнера, м.

Длина миницилиндров с втянутыми штоками:

$$z_m = \frac{l-z}{2}. \quad (13)$$

Ход поршня пневмоцилиндра привода  $H_{\text{пц}}$  и силовых миницилиндров  $h_{\text{пц}}$ :

$$H_{\text{пц}} = \frac{\sqrt{3}}{2}z - \frac{b}{2}, \quad (14)$$

$$h_{\text{пц}} = \frac{1}{2}\left(B - \frac{\pi d}{2} + \frac{\Delta B}{2} - l\right). \quad (15)$$

Для проверки работоспособности рычажно-шарнирных захватных устройств в лабораторных условиях, а также для определения их режимов работы была изготовлена натурная установка (рисунок 7).

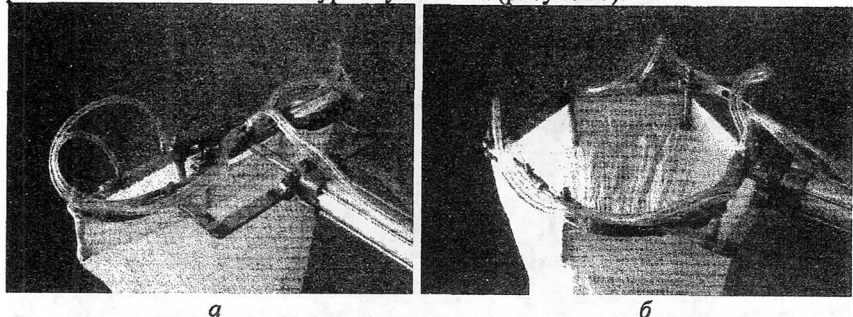


Рисунок 7. Натурная установка РШЗУ в закрытом (а) и открытом (б) положениях

Для проверки работоспособности РШЗУ в производственных условиях опытный образец устройства был установлен в зернохранилище ООО «Нива». Использование данного устройства автоматизирует процесс захвата, раскрытия и удержания гибких контейнеров вместимостью 50 кг при наполнении их зерном и другими пищевыми сыпучими продуктами, что позволяет освободить человека от травмоопасной, экологически вредной работы и значительно облегчить условия его труда. При этом средняя производительность процесса составляет 4,5-5 тонн/час, что выше текущей производительности линии на 30-40%. Прогнозируемый экономический эффект от внедрения данного устройства составит не менее 92 тыс. руб. в год.

В четвертой главе для решения задачи полной автоматизации процесса расфасовки зернистых и порошковых пищевых сыпучих материалов в мягкую тару разработана конструкция автоматической линии (заявка на патент РФ №2011122137/13 от 31.05.11). На рисунке 8 представлена трехмерная компьютерная модель линии, которая содержит рычажно-шарнирное захватное устройство 1 с приводом в виде пневмоцилиндра 2, шарнирно смонтированного на раме 3 с возможностью поворота посредством пневмоцилиндра 4. Гибкие контейнеры 5 находятся на столе 6. Вакуумные захваты 7 имеют возможность вертикального осевого перемещения. Лента транспортера 8 расположена под загрузочным патрубком 9, соединенным с дозатором 10.

На основе трехмерной компьютерной модели автоматической линии с помощью программных средств проектирования был смоделирован процесс автоматического наполнения ГК сыпучим материалом. При начале очередного цикла вакуумные захваты прижимаются к поверхности горловины верхнего гибкого контейнера. Перемещение вакуумных захватов в исходное положение приводит его отделению и открытию (рисунок 9а). Пневмоцилиндр с захватным механизмом поворачивается по часовой стрелке, пальцы РШЗУ проникают внутрь горловины ГК и захватывают его (рисунок 9б).

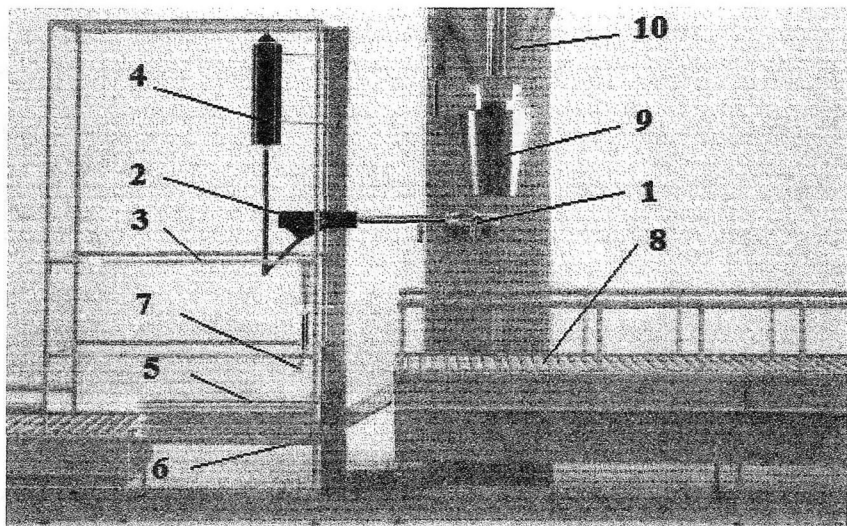


Рисунок 8. Трехмерная компьютерная модель автоматической линии

Затем РШЗУ возвращается в свое исходное положение и посредством втягивания штока пневмоцилиндра привода раскрывает и удерживает горловину ГК (рисунок 9в). При этом основание гибкого контейнера находится на ленте транспортера непосредственно под пальцами захватного механизма и загрузочным патрубком, который опускается внутрь горловины ГК до уровня захватного механизма. Начинается засыпка предварительно взвешенной дозатором порции продукта (рисунок 9г). По окончании засыпки загрузочный патрубок поднимается в исходное положение, захватный механизм закрывает горловину гибкого контейнера, подготавливая его для прошивки (рисунок 9д). При этом контейнер освобождается от пальцев захватного механизма, а его горловина удерживается специальными роликами. После прошивки ГК отпускается и по ленте транспортера перемещается на пункт отгрузки или складирования (рисунок 9е).

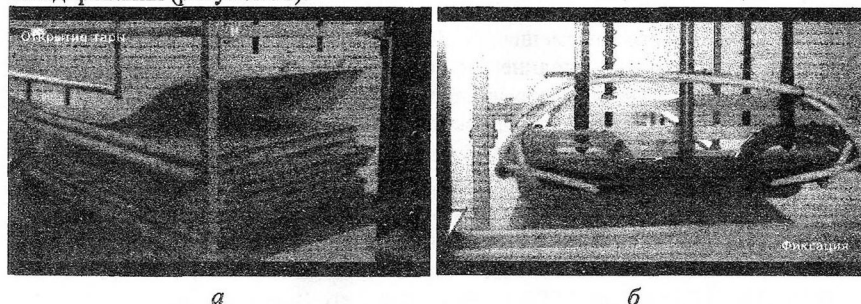


Рисунок 9. Компьютерное моделирование процесса расфасовки СМ в мягкую тару

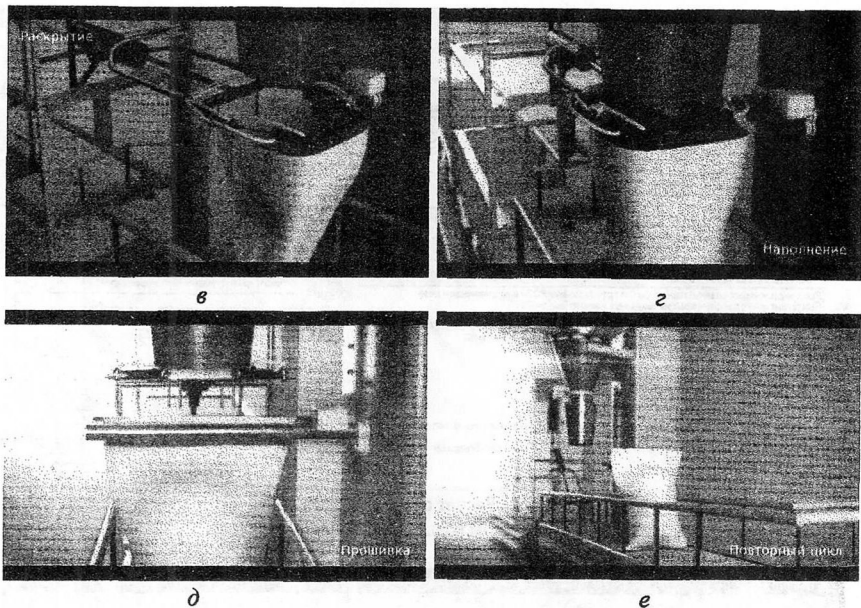


Рисунок 9. Компьютерное моделирование процесса расфасовки СМ в мягкую тару

Использование предложенной автоматической линии позволяет полностью освободить человека от тяжелой, утомительной работы, вывести его из вредной рабочей зоны и более не применять ручной труд в процессах расфасовки сыпучей продукции в мягкую тару из различных материалов.

Для расчета основных параметров автоматических линий для расфасовки различных сыпучих материалов в гибкие контейнеры различного размера разработан алгоритм и программный комплекс на языке Delphi. Рабочее окно программы приведено на рисунке 10. Исходными данными является длина и ширина ГК, а также тип сыпучего материала. После расчета на экран выводится уравнение кривой провисания горловины приоткрытого гибкого контейнера (и при желании строится график кривой провисания), а также рекомендуемые значения основных параметров РШЗУ и автоматической линии.

Для управления работой расфасовочных комплексов, состоящих из одной или нескольких автоматических линий разработан алгоритм и программа на языке Delphi (рисунок 11), позволяющая обрабатывать и формировать заказы потребителей на расфасовку сыпучих материалов в условиях «размытости» рынка при неизвестных тенденциях изменения емкости рынка и объема производства. Это дает возможность более равномерно распределять заказы потребителей между расфасовочными линиями, что позволяет сократить простой технологического оборудования, тем самым повышается производительность расфасовочных комплексов.



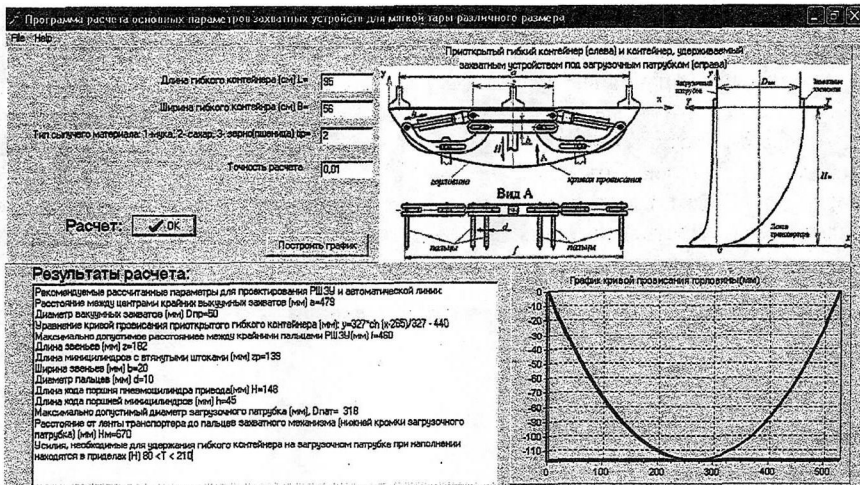


Рисунок 10. Рабочее окно программы «Расчет основных параметров захватных устройств для мягкой тары различного размера»

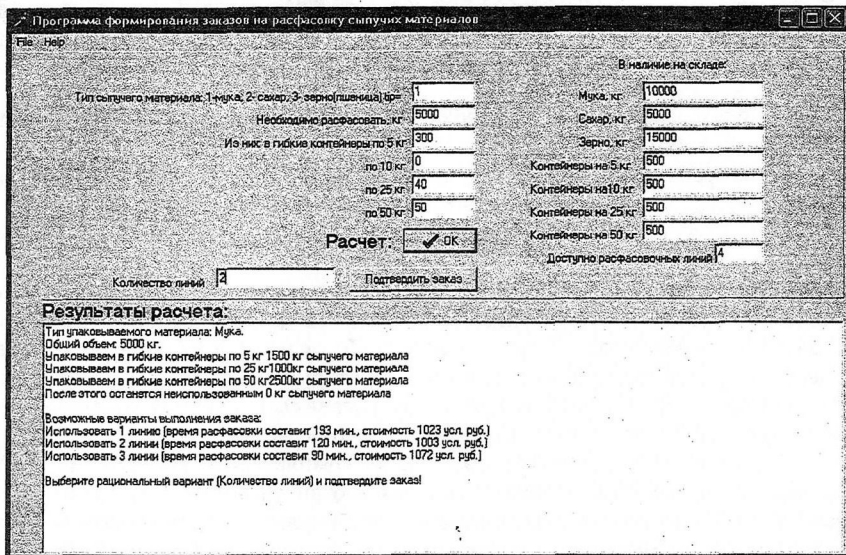


Рисунок 11. Рабочее окно программы формирования заказов потребителями продукции

В приложениях приводятся статистически обработанные результаты экспериментов, полный текст программы «Расчет основных параметров захватных устройств для мягкой тары различного размера» на языке Delphi, копии патентов и акты внедрения результатов диссертационного исследования.



## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В работе решена научно-техническая задача, имеющая важное экономическое значение, состоящая в полной автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в мягкую транспортную тару типа гибких контейнеров с открытой горловиной вместимостью 5-50 кг, что позволяет освободить человека от тяжелой, утомительной и экологически вредной работы, при этом повышается производительность процесса на 30-40 % по сравнению с известными линиями и снижается себестоимость упаковки одной единицы продукции.

2. Для решения данной задачи были установлены связи между формой горловины приоткрытых гибких контейнеров, лежащих горизонтально, и максимально допустимым расстоянием между крайними боковыми пальцами захватных устройств, при котором обеспечивается их свободное проникание внутрь горловины контейнера, а также между размером гибких контейнеров, типом и свойствами упаковываемого в них сыпучего материала и усилиями, необходимыми для их удержания в раскрытом виде при наполнении.

3. Получены математические зависимости кривой провисания горловины гибких контейнеров, лежащих горизонтально, и усилий удержания раскрытых контейнеров под загрузочным патрубком при наполнении сыпучим материалом.

4. Разработан алгоритм и программный комплекс на языке Delphi, позволяющий рассчитать основные параметры рычажно-шарнирных захватных устройств для мягкой тары различного типа и размера и геометрические параметры основных элементов автоматической линии расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару.

5. Для решения задачи полной автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару разработано семейство рычажно-шарнирных захватных устройств, позволяющих автоматически захватить, раскрыть гибкий контейнер и подать его под патрубок дозирующего устройства для наполнения, а после этого растянуть горловину наполненного контейнера в линию для автоматической прошивки. Теоретические исследования, а также лабораторные и производственные испытания опытного образца захватного устройства подтвердили его работоспособность.

6. Разработана конструкция и трехмерная компьютерная модель автоматической линии расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару. С помощью программных средств проектирования смоделирован процесс работы автоматической линии.

7. Разработаны алгоритм и программа управления расфасовочным комплексом, состоящим из одной или нескольких автоматических линий, позволяющие формировать и выполнять заказы потребителей на упаковку различных сыпучих материалов в мягкую тару различного размера.

8. Полученные результаты рекомендуется использовать в отраслях пищевой, химической промышленности, в строительстве и сельском хозяйстве при расфасовке зернистых и порошковых сыпучих материалов в мягкую

транспортную тару типа гибких контейнеров вместимостью от 5 до 50 кг. Результаты диссертационной работы внедрены на линии расфасовки пищевых сыпучих продуктов в открытые гибкие контейнеры вместимостью 50 кг в зернохранилищах ООО «Нива» и других агропромышленных предприятий, а также в учебный процесс кафедры «Строительных материалов и специальных технологий» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета и используются при подготовке студентов по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

## **ПУБЛИКАЦИИ**

### **Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Макаров А.М. Расчет рычажных устройств на усилия захвата нежесткой тары // Изв. ВолгГТУ. Том 13. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 7 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – С. 83-85.
2. Макаров А.М., Сердобинцев Ю.П. Автоматизация процесса наполнения мягкой расфасовочной тары сыпучим материалом // Современные проблемы науки и образования, 2011. – № 6; URL: [www.science-education.ru/100-5113](http://www.science-education.ru/100-5113) (дата обращения: 27.12.2011).
3. Рабинович Л.А., Брискин Е.С., Макаров А.М. Автоматизация подачи мешков из ткани на рабочие позиции фасовочного оборудования // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2009. – № 11. – С. 35-39.
4. Рабинович Л.А., Макаров А.М. Устройство для захвата и автоматического раскрытия мешков из ткани // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 5: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – № 8. – С. 102-105.

### **Патенты РФ и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ**

5. Пат. № 2421383 РФ, МПК В 65 В 67/12. Устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков / Л.А. Рабинович, А.М. Макаров; ВолгГТУ, 2011.
6. П. м. № 88339 РФ, МПК В 65 В 67/12. Устройство для захвата, раскрытия и удержания мешков / Л.А. Рабинович, Г.П. Барабанов, А.М. Макаров; ВолгГТУ, 2009.
7. Расчет параметров захватных устройств для мешков различного типоразмера. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012611863 / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев; ВолгГТУ, 2012.

### **Основные научные работы, опубликованные в других изданиях**

8. Макаров А.М., Рабинович Л.А. Автоматизация расфасовки сыпучих материалов в нежесткую тару // *Mechanika (Poland)*. Nr 279. –2011. – Z. 83 (nr 1/2011). – С. 233-237.
9. Макаров А.М., Рабинович Л.А. Автоматизация подачи тары под засыпку на фасовочных автоматах // XXI международная инновационно-

ориентированная конференция молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения (МИКМУС-2009) : матер. конф., 16-18 ноября 2009 г. / РАН, ИМАШ им. А.А. Благонравова. – М., 2009. – С. 74.

10. Макаров А.М., Рабинович Л.А. Автоматизация процесса расфасовки сыпучей продукции в нежесткую тару // Научный потенциал студенчества в XXI веке: матер. III междунар. науч. студенческой конф. Т.1: Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки / ГОУ ВПО "Северо-Кавказ. гос. техн. ун-т" [и др.]. – Ставрополь, 2009. – С. 125.

11. Макаров А.М., Рабинович Л.А. Автоматизация расфасовки сыпучего материала в нежесткую тару // Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей і транспорту : матер. міжнарод. наук.-техн. конф. студ., аспір. та молод. вчених, м. Севастополь, 19-22 травня 2009 р. / Севастоп. нац. техн. ун-т [и др.]. – Севастополь, 2009. – С. 318-319.

12. Сердобинцев Ю.П., Рабинович Л.А., Макаров А.М. Устройства для автоматической подачи нежесткой тары при расфасовке сыпучих материалов // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий: межвуз. науч. сб. / ГОУ ВПО "Уфимский гос. авиац. техн. ун-т". – Уфа, 2011. – С. 223-227.

13. Макаров А.М., Сердобинцев Ю.П., Рабинович Л.А. Разработка и исследование устройств для автоматической расфасовки сыпучих материалов // XV регион. конф. мол. исслед. Волгоградской области (Волгоград, 9-12 ноября 2010 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2011. – С. 62-64.

14. Сердобинцев Ю.П., Макаров А.М. Повышение качества предпроектной подготовки процесса фасовки сыпучих материалов в условиях информационно-технологической среды // Современные наукоёмкие технологии. – 2011. – № 4. – С. 48-50.

15. Рабинович Л.А., Макаров А.М. Автоматизация процессов расфасовки сыпучего материала в мешки // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: матер. междунар. науч.-техн. конф. (г. Севастополь, 7-12 сент. 2009 г.) / Севастопольский нац. техн. ун-т, Техн. ун-т г. Люблин, Силезский техн. ун-т г. Гливице. – Севастополь, 2009. – С. 72-74.

16. Макаров А.М., Рабинович Л.А. Разработка и исследование многозвенного рычажного устройства для автоматического захвата и подачи мешка под загрузку сыпучим материалом // XX междунар. Интернет-ориентир. конф. мол. учёных и студ. по соврем. проблемам машиноведения, 10-12 нояб. 2008 г. / ИМАШ им. А.А. Благонравова. – М., 2008. – С. 164.

17. Makarov A.M. Devise for capturing and automatically opening bags made of cloth // МИКМУС-2009: избран. тр. конф. / Ин-т машиноведения им. А.А.Благонравова РАН [и др.]. – М., 2010. – С. 71-75.

30

Подписано в печать 12.04.2012 г.

Заказ № 246. Тираж 100 экз. Объем 1,25 усл. п.л.

Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Типография ИУНЛ Волгоградского государственного технического университета.  
400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, корп. 7.