

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАПОЛНЕНИЯ ГИБКИХ КОНТЕЙНЕРОВ СЫПУЧИМ МАТЕРИАЛОМ

Strukturalno-parametryczna synteza zautomatyzowanych urządzeń do napełniania elastycznych kontenerów sypkim materiałem

Structural-parametric synthesis of automated devices for filling flexible containers with bulk material

Alexey M. MAKAROW, Yuri P. SERDOBINTSEV, Oleg V. MUSHKIN, Maksim A. LAPIKOV

А н н о т а ц и я: Разработана модульная схема расфасовочного комплекса и структурно-функциональные схемы наиболее сложных с точки зрения автоматизации модулей: устройства дозирования и устройства для манипулирования гибким контейнером при наполнении. Разработан ряд конструкций систем автоматической расфасовки. Проведено компьютерное моделирование процесса захвата гибкого контейнера вакуумными захватными устройствами. Обработанные результаты экспериментальных исследований показали хорошую сходимость с теоретическими расчетами и компьютерным моделированием.

К л ю ч е в ы е с л о в а: расфасовка, гибкий контейнер, сыпучий материал, вакуумный захват, компьютерное моделирование

S t r e s z c z e n i e: W pracy przedstawiono modułowy schemat rozdzielającego kompleksu oraz strukturalno-funkcyjne schematy najbardziej złożonych z punktu widzenia automatyzacji modułów: urządzenia dozujące i urządzenia dla manipulowania elastycznymi pojemnikami w trakcie napełniania. Opracowano szereg systemów konstrukcyjnych dla automatycznego rozdzielania. Przeprowadzono komputerowe modelowanie procesu chwytania elastycznego pojemnika za pomocą próżniowego urządzenia chwytowego. Opracowane wyniki badań eksperymentalnych wykazały dobrą porównywalność z obliczeniami teoretycznymi i modelowaniem komputerowym.

S ł o w a k l u c z o w e: napełnianie, elastyczny pojemnik, sypki materiał, chwytak próżniowy, modelowanie komputerowe

A b s t r a c t: The modular diagram of packaging system and structural-functional diagrams of the most complex with relation to automation modules have been developed. These modules are batching devices and devices for manipulating of flexible container at filling. Set of constructions of automatic packaging systems has been developed. Computer modeling of the gripping processes a flexible container by vacuum gripping devices has been carried out. Processed results of experimental investigations showed good precision with theoretical calculations and computer modeling.

K e y w o r d s: packaging, flexible container, bulk material, vacuum gripping devices, computer modeling

Введение

В условиях постоянного роста требований к оптимизации технологических процессов и операций на современных производствах, в частности, в таком виде сборочных процессов, как расфасовка, всё острее встаёт вопрос комплексной автоматизации. Полная автоматизация процесса расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры является перспективным и актуальным направлением, так как позволяет значительно увеличить производительность, а также вывести оператора из вредной рабочей зоны при расфасовке взрывоопасных или сильнопылящих материалов.

Обзор существующих устройств показал, что задача комплексной автоматизации процесса расфасовки является достаточно сложной. Существует ряд устройств [1, 2], позволяющих осуществлять

автоматическую загрузку сыпучего материала, однако операции замены гибкой тары на рабочей позиции производятся вручную. Также существуют устройства [3, 4, 5] позволяющие захватывать гибкую тару и перемещать ее на позицию загрузки, однако наполненная тара в них перемещается на позицию хранения с открытой горловиной, что может привести к потере части материала. При этом часть устройств не способна осуществить надежный захват гибкой тары, что может привести к остановке всего производства.

На основании анализа недостатков существующих устройств в этой области, а также подходов к проектированию и изготовлению подобных устройств, целью исследования является повышение эффективности проектирования, изготовления и эксплуатации систем автоматизированной расфасовки сыпучих материалов за счет разработки методики структурно-параметрического синтеза таких систем.



Рис. 1. Модульная схема построения расфасовочных комплексов
 Rys. 1. Modułowy schemat budowy opakowanie kompleksów
 Fig. 1. The modular diagram construction of filling complexes

Модульная структура построения расфасовочных комплексов

Процесс расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару – достаточно сложная техническая задача, включающая в себя использование различных видов технологического оборудования: дозаторов, транспортеров, устройств захвата и т.д. При проектировании упаковочного оборудования, а также при комплектовании автоматизированных расфасовочных линий может быть использован принцип структурно-функционального подхода [6, 7] с модульной схемой построения системы.

На рис. 1 представлена разработанная модульная схема построения расфасовочного комплекса. Она представляет собой набор модулей, которые являются элементами системы. При этом любой модуль подбирается с учетом свойств расфасовываемого материала, требований к точности расфасовки, а также типа и свойств упаковочной тары.

Каждый элемент данной схемы может быть представлен в расфасовочном комплексе большим спектром устройств. Большинство из них уже имеют достаточную степень автоматизации. Однако некоторые либо совсем не используются и заменяются человеком, либо не автоматизированы в полной мере.

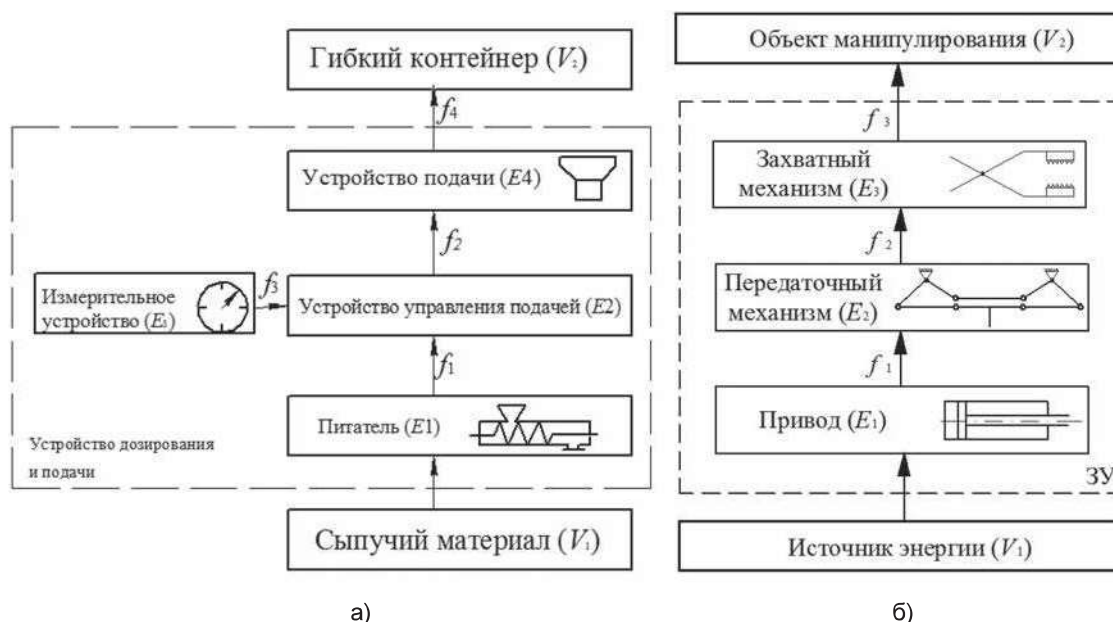


Рис. 2. Структурно функциональная схема: а) – устройство дозирования; б) – устройство захвата, раскрытия и подачи контейнера
 Rys. 2. Strukturalnie funkcjonalny schemat: a) urządzenie dozowania, b) urządzenie przechwytywania, ujawnienia i złożenia kontenera
 Fig. 2. Structurally functional diagram: a) - dosing device; b) – the device of capture, opening and the movement of the container

Например, система дозирования и устройство захвата, раскрытия и подачи гибких контейнеров. Именно эти этапы технологического цикла расфасовки сыпучих материалов являются наименее автоматизированными, и, в тоже время, очень трудоемкими для рабочего.

Структурно-функциональный анализ элементов системы

Структурно-функциональный анализ подразумевает разбиение технической системы на элементы (рис. 2) и выявление их основных свойств с целью улучшения функционирования как отдельных элементов, так и технической системы в целом.

На рис. 2 приведены структурно-функциональные схемы системы дозирования и устройства захвата, раскрытия и подачи контейнеров.

На данных схемах приняты следующие обозначения: *E* – главные элементы; *V* – объекты окружения; *f* – функции, которые выполняет элемент системы.

Разработка конструкции системы автоматической расфасовки

На основе структурно-функционального анализа был разработан ряд конструкций систем автоматической расфасовки [8, 9], одна из которых представлена на рис. 3.

Для автоматического захвата, открытия и удержания воздухопроницаемых (например, полипропиленовых) гибких контейнеров для наполнения их сыпучим материалом были использованы вакуумные захваты (ВЗУ) [10-13].

Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия мешков (рис. 3) содержит захватный механизм 1 [6, 14, 15] состоящий из четырех рычажных звеньев 2 и двух пневматических миницилиндров 3 двухстороннего действия, попарно соединенных шарнирами, заодно с которыми установлены захваты в виде пальцев 4. Пневмоцилиндр 5 шарнирно установлен на раме 6 и выполнен с возможностью поворота вокруг оси, проходящей через центр пневмоцилиндра параллельно его основанию. Для этого на корпусе пневмоцилиндра 5 жестко закреплен стержень 7, шарнирно связанный со штоком поворотного пневмоцилиндра 8 двухстороннего действия, который также шарнирно установлен на раме 6. Стопа пустых, непрошитых с одной стороны мешков 9 находится на подъемном столе 10 внутри рамы 6. Вакуумный захват 11 соединен трубками с системой подачи воздуха, и установлен на рычаге 12 с возможностью вертикального осевого перемещения относительно вала 13, закрепленного на раме 6. Рычаг 12 имеет П-образную форму, а его верхняя горизонтальная часть закреплена на штоке пневмоцилиндра привода продольного перемещения 14.

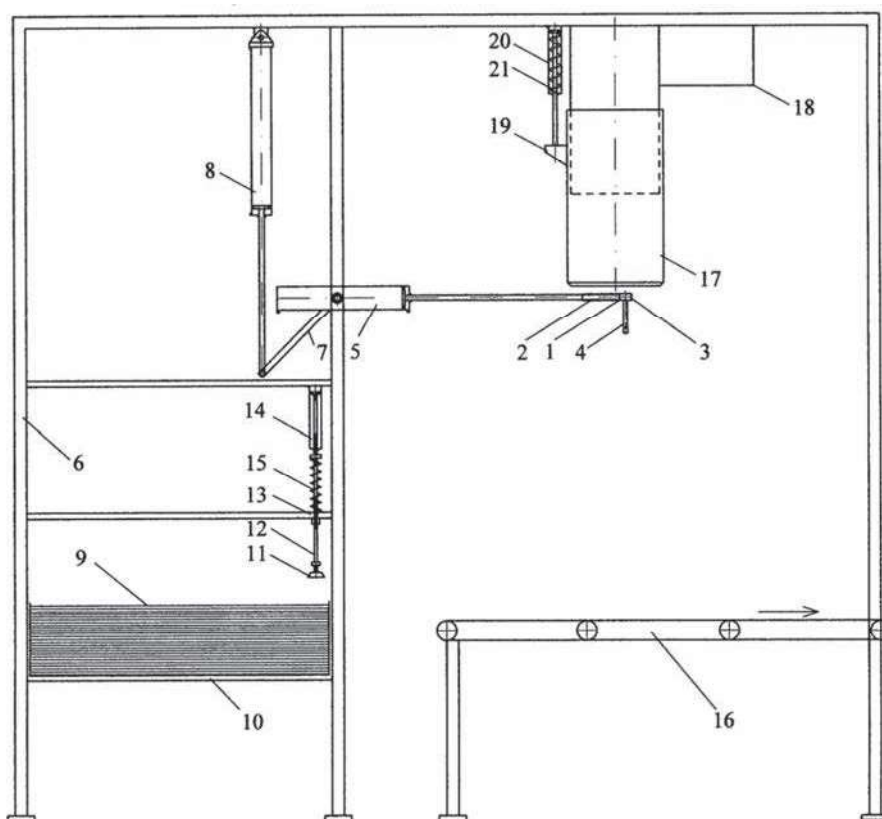


Рис. 3. Система автоматической расфасовки сыпучих материалов гибкие контейнеры
 Rys. 3. System automatycznego konfekcjonowania materiałów sypkich – kontenery elastyczne
 Fig. 3. Automatic packaging system for bulk materials in flexible containers

Между верхней частью рычага 12 и валом 13 установлены пружины 15.

Лента транспортера 16 смонтирована на раме 6 и расположена под загрузочным патрубком 17, который соединен с дозатором 18 (на рисунки показан условно) и выполнен с возможностью линейного вертикального перемещения, для этого на нем с внешней стороны установлена пластина 19, соединенная со штоком пневмоцилиндра одностороннего действия 20, в штоковой полости которого установлена пружина 21.

Компьютерное моделирование процесса захвата и удержания гибкого контейнера с помощью вакуума

В предложенной схеме (рис. 3) захват и предварительное открытие гибкого контейнера производится с помощью вакуумных захватных устройств. Однако эффективность захвата гибких контейнеров из различных материалов зависит от вида и параметров гибкого контейнера и требует дополнительного исследования.

Для исследования потоков воздуха и определения степени влияния конструктивных особенностей вакуумных захватных устройств и вида расфасовочной тары произведено компьютерное моделирование процесса захвата и удержания гибких контейнеров вакуумными захватами [16]. Моделирование производилось в специализированном прикладном пакете *Solid Works* (библиотека *Flow simulation*). В результате моделирования построены эпюры распределения давления воздуха по объему вакуумного захвата (рис. 4).

Результаты моделирования показывают, что внутри вакуумного захватного устройства создается достаточная степень вакуума, при этом разрежение по

всему объему ЗУ достаточно равномерное. Это свидетельствует о правильном выборе конструкции и расчете параметров ВЗУ.

Материалы и методы экспериментального исследования

Для проведения экспериментальных исследований по оценки вероятности и надежности захвата гибкого контейнера вакуумными захватными устройствами разработана экспериментальная установка, содержащая пневматический привод компании *Camozzi* с электропневматической системой управления на базе программируемого логического контроллера компании *Mitsubishi Electric*.

Для оценки вероятности захвата гибких контейнеров вакуумными захватами были проведены эксперименты. В ПЛК загружена программа, позволяющая выполнять серии экспериментов по 100 опытов для различной степени вакуума в автоматическом режиме. После запуска программы нажатием кнопки "Пуск" с контроллера подается сигнал на сервопривод, который связан с регулирующим органом, соединяющим вакуумную машину с вакуумным захватным устройством. Текущая степень вакуума отображается на стрелочном вакуумметре, а также измеряется датчиком давления и выводится на дисплей.

С определенной периодичностью контроллер подает сигнал, который управляет возвратно-поступательным движением штока пневмоцилиндра с закрепленным на нем вакуумным захватным устройством. Факт удачного захвата и отделения гибкого контейнера фиксируется ультразвуковым датчиком расстояния и выводится на дисплей. Затем вакуумная машина отключается и гибкий контейнер возвращается в исходное положение. После этого цикл повторяется.

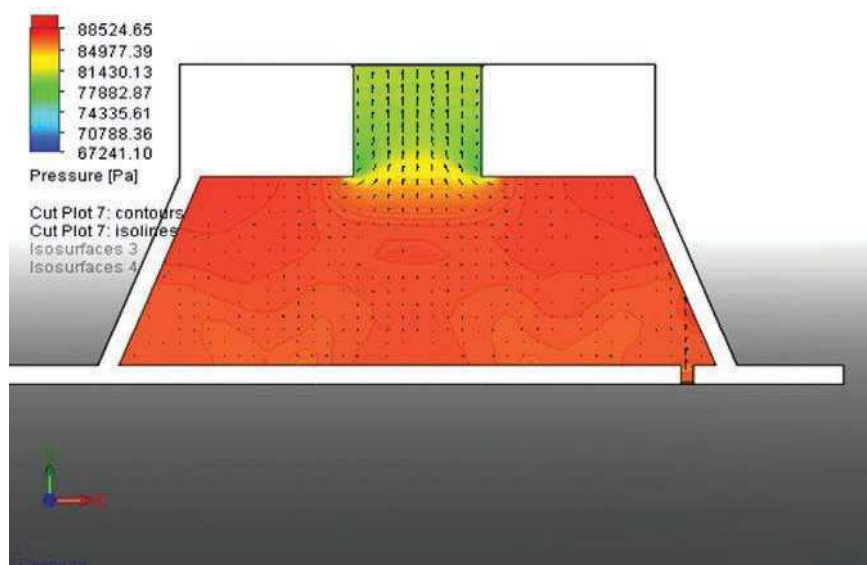


Рис. 4. Эпюра распределения давления по объему вакуумного захвата
Rys. 4. Wykres rozkładu ciśnienia objętościowo próżniowego przechwytywania
Fig. 4. Diagram the pressure distribution in the volume of the vacuum gripper

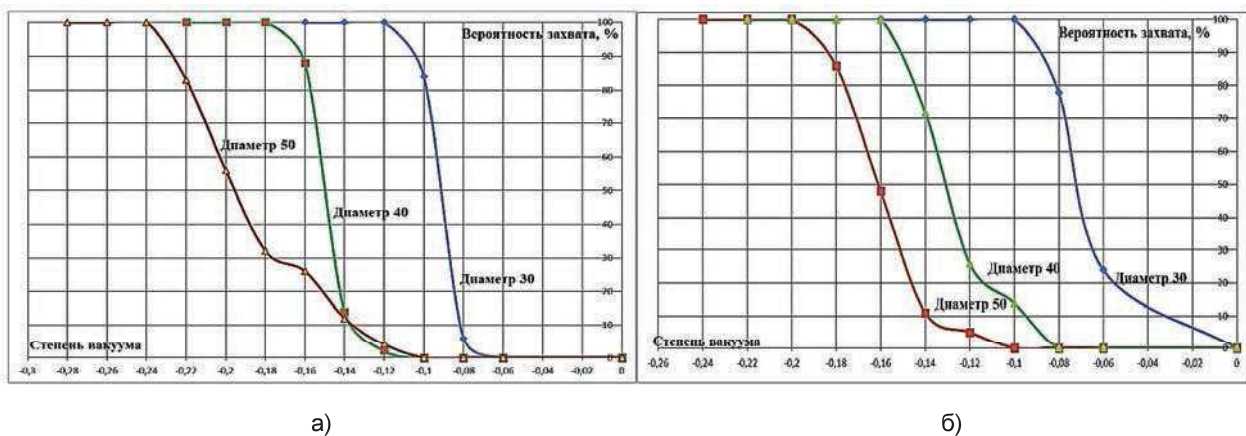


Рис. 5. Результаты эксперимента а) – с 3 вакуумными захватами, б) – с 5 вакуумными захватами
 Rys. 5. Wyniki eksperymentu: a) z 3 próżniowej schwytnie, b) z 5 węży schwytnie
 Fig. 5. The results of the experiment a) – with 3 vacuum grippers, b) – with 5 vacuum grippers

Результаты и их обсуждение

По обработанным данным построены графики зависимости вероятности захвата гибкого контейнера от степени вакуума, создаваемого в вакуумном захватном устройстве с учетом количества и диаметра вакуумных захватов. Результаты эксперимента для захватного устройства с тремя ЗУ диаметрами 30 мм, 40 мм и 50 мм представлены на рисунке 5, а. Для них надежный захват гибкого контейнера осуществляется при степени разрежения – 12 кПа (при диаметре вакуумных захватов 30 мм), – 18 кПа (40 мм) и – 24 кПа (50 мм).

На рис. 5, б представлены результаты экспериментов с 5 вакуумными захватами. Для них надежный захват гибкого контейнера осуществляется при степени разрежения – 10 кПа (при диаметре вакуумных захватов 30 мм), – 16 кПа (40 мм) и – 20 кПа (50 мм).

Полученные результаты могут быть объяснены тем, что в качестве захватываемого объекта использовались гибкие контейнеры из воздухопроницаемых материалов (полипропиленовая нить). Данный вид зависимостей характерен только для случая использования воздухопроницаемых гибких контейнеров.

Таким образом для воздухопроницаемых гибких контейнеров вероятность удачного захвата уменьшается при увеличении диаметров вакуумных захватов, что связано с увеличением скорости снижения грузоподъемности ВЗУ из-за истечения воздуха сквозь воздухопроницаемый материал гибкого контейнера и более быстрого разрежения. Увеличение же числа вакуумных присосок повышает надежность и вероятность захвата гибкого контейнера при меньшей степени вакуума.

Выводы

При проектировании фасовочного оборудования, а также при комплектовании автоматизированных расфасовочных линий может быть использован модульный подход построения системы, учитывающий

свойства фасуемого сыпучего материала, а также вид и параметры фасовочной тары. Разработаны структурно-функциональные схемы наиболее сложных с точки зрения автоматизации модулей расфасовочного комплекса: устройства дозирования и устройства для манипулирования гибким контейнером при наполнении.

Разработан ряд конструкций систем автоматической расфасовки. В качестве захватного устройства эти системы часто используют вакуумные захватные устройства. Для определения степени влияния конструктивных особенностей вакуумных захватных устройств и вида расфасовочной тары на надежность процесса захвата и удержания контейнера проведено математическое и компьютерное моделирование. Результаты показывают, что внутри вакуумного захватного устройства создается достаточная степень вакуума, при этом разрежение по всему объему достаточно равномерное.

Для проведения экспериментальных исследований по оценке вероятности и надежности захвата гибкого контейнера вакуумными захватными устройствами разработана экспериментальная установка, содержащая пневматический привод компании *Camozzi* с электропневматической системой управления на базе программируемого логического контроллера компании *Mitsubishi Electric*. Обработанные результаты экспериментальных исследований показали хорошую сходимость с теоретическими расчетами и компьютерным моделированием.

Список литературы

- [1] Установка для наполнения мягкой тары сыпучим материалом: пат. 2203840 Российская Федерация: МПК В 65 В 1/04 / В. А. Чернов, П. К. Дундуа; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «ЦНИИПодземмаш». – № 2001124923/13; заявл. 12.09.01; опубл. 10.05.03
- [2] Устройство для наполнения мешков сыпучим материалом: пат. 1548990 Российская Федерация:

