

Диагностика процесса автоматического манипулирования гибким контейнером при его наполнении сыпучим материалом в условиях неопределенности

А. М. Макаров¹, Ю. П. Сердобинцев², М. П. Кухтик³, О. В. Мушкин⁴, М. А. Лапиков⁵

Волгоградский государственный технический университет

¹amm34@mail.ru, ²app@vstu.ru, ³mkuhtik@rambler.ru, ⁴olezhka_93@inbox.ru, ⁵remax777@yandex.ru

Аннотация. Исследован процесс автоматического манипулирования гибким контейнером при наполнении сыпучим материалом. Для диагностики правильности предварительного открытия гибкого контейнера разработан алгоритм, позволяющий по фотографии горловины судить о правильности ее предварительного открытия и удержания для последующего захвата и транспортировки на позицию наполнения. Алгоритм позволяет распознавать по фотографии форму горловины и анализировать ее, сравнивая с теоретической в зависимости от выбранной расчетной схемы и параметров захватного устройства. При этом выдается заключение о правильности предварительного открытия. Алгоритм имеет функцию обучения, повышающую точность его работы. Интеграция данного алгоритма в существующие системы управления расфасовочным процессом позволит в режиме реального времени диагностировать правильность предварительного открытия гибкого контейнера, что значительно повысит надежность процесса и позволит снизить долю брака при эксплуатации расфасовочного оборудования.

Ключевые слова: автоматическое манипулирование; гибкий контейнер; горловина; предварительное открытие; распознавание; диагностика; управление в условиях неопределенности

I. ВВЕДЕНИЕ

Трудность управления сложными системами часто связана с невозможностью или высокой трудоемкостью их формального описания, а также со значительной информационной неопределенностью при малых объемах достоверных данных и нестабильностью или нечеткостью оценок и решений. Для решения задач управления такими системами необходимы специальные подходы и методы обработки информации, ориентированные на подобные ситуации [1]. В различных отраслях современной экономики существуют примеры успешного управления сложными системами с использованием мягких подходов, методов, измерений и вычислений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых-кандидатов наук МК-2619.2017.8

Это различные генетические, бионические и адаптивные алгоритмы [2–6], системы принятия решений и интеллектуальные системы [7–8], системы, построенные на нечеткой логике [9–10] и нейросетевых алгоритмах [11]. Последние хорошо себя проявили в распознавании и классификации, а также принятии решений и прогнозировании.

Одной из возможных областей применения алгоритмов, основанных на мягких вычислениях, могут быть задачи автоматического управления мехатронными системами автоматической расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры (ГК).

Для повышения эффективности таких систем предложен ряд устройств [12–16], позволяющих полностью автоматизировать процесс манипулирования гибким контейнером при его наполнении. Математическое и компьютерное моделирование этих устройств [12, 17, 18], а также результаты экспериментального исследования [19, 20] подтверждают их работоспособность и применимость в данной области.

Для автоматического манипулирования гибкими контейнерами при наполнении сыпучим материалом могут использоваться различные типы захватных устройств и способы захвата. При захвате гибкого контейнера с внутренней стороны его горловины для последующего раскрытия, удержания при наполнении и закрытия для закупоривания и транспортировки важную роль играет правильность и точность предварительного открытия гибкого контейнера в неопределенных условиях и при изменяющихся внешних воздействиях (отклонение положения гибкого контейнера от заданного на позиции захвата, адгезия стенок горловины ГК, непостоянная степень разряжения в вакуумном захватном устройстве (ВЗУ), неравномерная воздухопроницаемость материала ГК и др.).

Одним из способов повышения качества оперативного управления процессом манипулирования гибким контейнером при наполнении сыпучим материалом может являться диагностика правильности

захвата и удержания ГК захватным устройством на протяжении всего процесса расфасовки.

II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве источника информации о ходе процесса манипулирования гибким контейнером, а именно, правильности его захвата из горизонтального положения на позиции захвата и предварительного открытия горловины с помощью вакуумных захватных устройств, используется фотоизображение объекта манипулирования в заданные моменты времени. Обработка полученных фотографий и заключение о правильности предварительного открытия делается с помощью разработанного обучаемого алгоритма.

Для автоматизированного проведения экспериментальных исследований, связанных с диагностикой правильности предварительного открытия ГК, получения достаточного количества фотографий для обучения и оценки работоспособности разработанного алгоритма диагностики разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1, 2, 3).

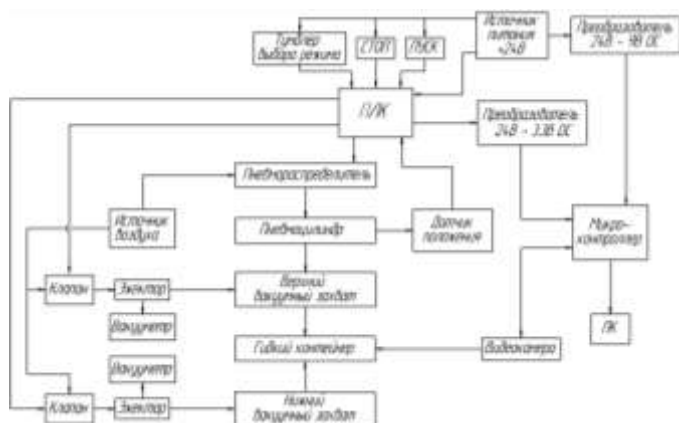


Рис. 1. Структурная схема лабораторной установки

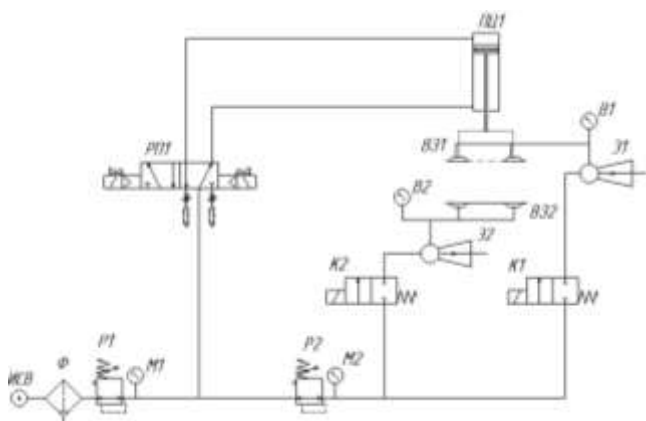


Рис. 2. Пневматическая схема лабораторной установки: ИСВ – источник сжатого воздуха, Ф – фильтр, Р – регулятор давления, М – манометр, РП – электропневмораспределитель, ПЦ – пневмоцилиндр, К – клапан, Э – эжектор, В – вакуумметр, ВЗ – вакуумное захватное устройство.

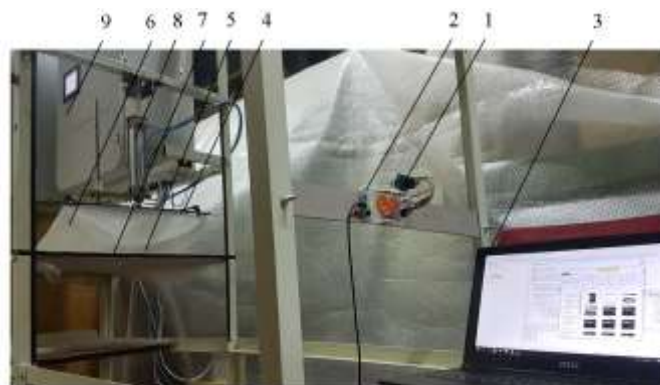


Рис. 3. Общий вид лабораторной установки: 1 – VGA видеокамера, 2 – микроконтроллер, 3 – ноутбук, 4, 5 – ВЗУ, 6 – гибкий контейнер, 7 – стол, 8 – пневмоцилиндр, 9 – шкаф управления

Экспериментальная установка содержит модуль VGA видеокамеры 1 модели OV7670 с максимальным разрешением 640x480 пикселей, изображение с которой обрабатывается с помощью микроконтроллера 2 с микропроцессором Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 на базе аппаратной платформы Arduino DUE, и с помощью специализированного программного обеспечения передается на ноутбук 3 модели MSI Gl62m 7rex. Объектив видеокамеры сфокусирован на рабочей области, в которой расположены два вакуумных захватных устройства 4 и 5 и гибкий контейнер 6, лежащий на столе 7.

ВЗУ 4 состоит из нескольких (не менее двух) вакуумных камер с возможностью изменения расстояния между крайними боковыми из них, и выполнен с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения с помощью пневмоцилиндра 8 модели 60M2L040A0150 компании Camozzi. ВЗУ 5 состоит из двух вакуумных камер, вмонтированных в стол 7 на заданном расстоянии. Управление установкой осуществляется от системы управления, расположенной в шкафу управления 9. Управление движением ВЗУ 4 осуществляется от электропневмораспределителя 358-011-02 (5/2, расход 700 Нл/мин), а управление степенью разрежения в вакуумных камерах ВЗУ 4 и 5 осуществляется от электропневмораспределителей (клапанов) 623-15E-A6 (2/2, расход 220 Нл/мин) и эжекторов SCV-20CK (разрежение до -53.2 Кпа, расход до 180 Нл/мин), связанных с системой подачи подготовленного сжатого воздуха от компрессора GENESIS 11500. Управление последовательностью действий при проведении эксперимента осуществляется от программируемого логического контроллера (ПЛК) FX3U-16MT/DSS компании Mitsubishi Electric.

При проведении экспериментальных исследований на лабораторной установке может быть реализовано 2 расчетные схемы (2 режима работы): захват и предварительное открытие гибкого контейнера с помощью одного ВЗУ 4, расположенного над гибким контейнером, или захват и предварительное открытие гибкого контейнера с помощью двух ВЗУ 4 и 5, расположенных над гибким контейнером и под ним. Режим работы задается с помощью тумблера.

При нажатии кнопки «ПУСК» в зависимости от выбранной расчетной схемы (положения тумблера) производится опускание ВЗУ 4 до касания горловины гибкого контейнера, лежащего на позиции захвата. После этого в вакуумных камерах ВЗУ 4 и ВЗУ 5 (для второй расчетной схемы) создается разрежение. Текущая степень вакуума в вакуумных камерах отображается на стрелочном вакуумметре. При возвращении ВЗУ 4 в исходное положение горловина гибкого контейнера приоткрывается. При этом подается сигнал с ПЛК через преобразователь 24В – 3.3В DC на микроконтроллер 2, видекамера делает фотографию, которая через виртуальный com-порт передается на ноутбук 3. Затем в вакуумных камерах создается нормальное давление, и гибкий контейнер возвращается в исходное положение. После этого цикл повторяется, пока не будет нажата кнопка «СТОП».

В эксперименте использовались стандартные гибкие контейнеры, плетеные из полипропиленовой нити шириной 4 мм, и вместимостью до 50 кг. Исследования проводились в обычных лабораторных условиях для первой расчетной схемы и следующих исходных данных:

- размеры гибкого контейнера: длина 1050 мм, ширина 550 мм;
- ход поршня пневмоцилиндра с верхним ВЗУ 145 мм;
- диаметр вакуумных камер верхнего ВЗУ 10 мм, расстояние между центрами крайних боковых камер 470 мм;

Для проведения диагностики правильности предварительного открытия гибкого контейнера использовался разработанный специализированный алгоритм и программа для ПК в среде Delphi, позволяющая загружать и обрабатывать фотографии горловины гибкого контейнера, выделяя на них форму приоткрытой горловины и, сравнивая ее с учетом весовых коэффициентов с теоретическим графиком, построенным для соответствующей расчетной схемы, делать заключение о правильности захвата, предварительного открытия и удержания ГК.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате эксперимента по предварительному открытию гибкого контейнера согласно первой расчетной схеме получена серия фотографий, которые были классифицированы на две группы: правильное и неправильное раскрытие. Правильное раскрытие подразумевает фиксацию формы приоткрытой горловины ГК в положении, позволяющем свободно проникнуть внутрь ее механизма с линейными размерами: ширина 30 мм, длина 430 мм. Неправильное раскрытие не позволяет выполнить заданное условие и может быть классифицировано на несколько категорий: ГК захвачен, но раскрыт неправильно; ГК не захвачен; ГК захвачен, но не раскрыт; ГК захвачен не всеми вакуумными камерами ВЗУ.

Фотографии двух групп последовательно загружались в специализированную программу и анализировались. Внешний вид основного рабочего окна программы представлен на рис. 4.

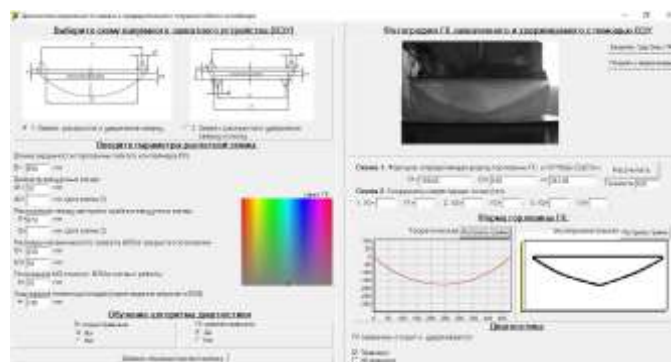


Рис. 4. Основное рабочее окно программы диагностики

После обучения алгоритма на выборке, составляющей не менее 100 фотографий каждой группы, включающих все выделенные категории, ошибка определения правильности предварительного открытия гибкого контейнера не превышала 5%. Дальнейшее обучение алгоритма позволит повысить точность диагностики.

IV. ВЫВОДЫ

Для решения задачи автоматического захвата ГК, его раскрытия, удержания при наполнении сыпучим материалом и закрытия могут быть использованы разработанные и исследованные захватные устройства [12–16, 19–20].

Для диагностики правильности предварительного открытия гибкого контейнера разработан алгоритм, позволяющий по фотографии горловины ГК судить о правильности ее предварительного открытия и удержания для последующего захвата и транспортировки на позицию наполнения. Алгоритм позволяет распознавать по фотографии форму горловины и анализировать ее, сравнивая с теоретической в зависимости от выбранной расчетной схемы и параметров захватного устройства. При этом выдается заключение о правильности или неправильности предварительного открытия. Алгоритм имеет функцию обучения, повышающую точность его работы.

Интеграция данного алгоритма в существующие системы управления расфасовочным процессом (например, в управляющую программу на ПЛК) позволит в режиме реального времени производить диагностику правильности предварительного открытия гибкого контейнера для последующей подачи под загрузочный патрубков и наполнения сыпучим материалом, что значительно повысит надежность процесса за счет осуществления повторного захвата ГК в случае неправильного или недостаточного его открытия, а также приведет к повышению производительности и позволит снизить долю брака при эксплуатации расфасовочного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Прокопчина, С.В. Мягкие подходы к управлению сложными системами / С.В. Прокопчина // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 7-14.
- [2] Бионические алгоритмы многокритериального проектирования печатных плат электронных средств / И.В. Суздальцев, С.Ф. Чермошенцев, Н.Ю. Богула // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 527-530.
- [3] Генетический алгоритм для размещения бортовых электронных средств в беспилотном летательном аппарате / И.В. Суздальцев, С.Ф. Чермошенцев, Н.Ю. Богула // XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2016) (г. Санкт-Петербург, 25-27 мая 2016 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. - [Санкт-Петербург], 2017. С. 481-484.
- [4] Подход к адаптивному управлению технологическими производственными процессами участка металлообработки / П.Д. Дробинцев, В.П. Котляров, И.Г. Черноуцкий, Л.П. Котлярова, О.В. Александрова // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 211-214.
- [5] Адаптивное управление электромеханическим объектом с ограниченной неопределенностью / Н.Д. Поляхов, А.Д. Стоцкая, Нгуен Дык Фу // XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2016) (Санкт-Петербург, 25-27 мая 2016 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2016. С. 268-271.
- [6] Комбинированный адаптивный подход для обнаружения и локализации неисправностей ветряной турбины / Ю.А. Кораблев, С.А. Худоложкин, М.Ю. Шестопалов // XVIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2015) (Санкт-Петербург, 19-21 мая 2015 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2015. С. 108-116.
- [7] Принятие решений в системе управления автономным мобильным роботом на основе активной семантической сети / Е.В. Долгова, Р.А. Файзрахманов, Д.С. Курушин // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 204-206.
- [8] Интеллектуальная система моделирования динамики износа футеровки сталеплавильного конвертера / Т.Б. Чистякова, В.А. Кудлай, И.В. Новожилова // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 151-154.
- [9] Кораблев Ю.А. Диагностические модели на основе нечетких графов / Ю.А. Кораблев // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 333-336.
- [10] Нечеткая система управления 3D FDM экструдером / Т.С. Леготкина, И.И. Безукладников, Н.В. Андриевская, Е.А. Толчанов // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 388-391.
- [11] Использование искусственной нейронной сети типа GRNN в задачах прогнозирования / П.Г. Андреев, Т.В. Андреева, Н.К. Юрков // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 63-66.
- [12] Макаров, А. М. Автоматическая расфасовка сыпучих материалов в мягкую тару. Повышение эффективности процесса / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 128 с.
- [13] Разработка устройства для автоматического раскрытия, удержания и закрытия гибких контейнеров с помощью вакуумных захватов / А.А. Ковалев, А.М. Макаров, М.Г. Кристаль, М.А. Лапиков // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. Волгоград, 2015. № 11 (173). С. 53-56.
- [14] П.м. 155000 РФ, МПК B65B5/00, B65B7/02. Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия гибких контейнеров / А.М. Макаров, М.Г. Кристаль, А.А. Ковалев, Д.А. Сулейманов; ВолгГТУ. 2015.
- [15] П.м. 169411 Российская Федерация, МПК B65B67/12 Устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания гибких контейнеров / А.М. Макаров, М.А. Лапиков, О.В. Мушкин, Ю.П. Сердобинцев; ВолгГТУ. 2017.
- [16] Макаров А.М. Автоматизация наполнения гибких контейнеров сыпучими продуктами / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев, Е.Г. Крылов // СТИН, 2014. № 4. С. 37-40.
- [17] Компьютерное моделирование процесса расфасовки сыпучих материалов в открытую мягкую тару / А.М. Макаров, В.Ф. Кучинский, О.В. Мушкин, М.А. Лапиков // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. Волгоград, 2016. № 8 (187). С. 79-81.
- [18] Макаров, А.М. Исследование устройства для автоматического наполнения гибких контейнеров сыпучим материалом / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев, А.С. Сергеев // Известия ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 10: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. Волгоград, 2013. № 20 (123). С. 114-117.
- [19] Моделирование и исследование автоматических устройств для манипулирования гибкими контейнерами при наполнении сыпучим материалом / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев, О.В. Мушкин, М.А. Лапиков // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): [сб. докл.] / СПбГЭУ «ЛЭТИ», Российская Северо-Западная секция IEEE, Научный совет по искусственному интеллекту РАН [и др.]. [Санкт-Петербург], 2017. С. 346-349.
- [20] Исследование процесса автоматического захвата воздухопроницаемых гибких контейнеров с помощью вакуума при расфасовке сыпучих материалов [Электронный ресурс] / А.М. Макаров, Ю.П. Сердобинцев, О.В. Мушкин, М.А. Лапиков // Пром-Инжиниринг (The 3rd International Conference on Industrial Engineering 2017): тр. III междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург – Челябинск – Новочеркасск – Владивосток, 16-19 мая 2017 г.) / отв. ред.: А.А. Радионов ; ФГАОУ ВО «Южно-Уральский гос. ун-т» (национальный исследовательский ун-т). Челябинск, 2017. С. 212-217.