

Г. Н. Овчинников, А. Д. Жохов, А. С. Панюлайтис, А. М. Макаров

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СИСТЕМЫ
ОТ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ГИБКИХ КОНТЕЙНЕРОВ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСКРЫТИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ov4innikov.gleb@yandex.ru, vlad.zhohov@yandex.ru,
app@vstu.ru, amm34@mail.ru

Произведено экспериментальное и аналитическое исследование зависимости производительности насосной системы вакуумного захватного устройства от воздухопроницаемости гибких контейнеров для осуществления их предварительного раскрытия во время процесса фасовки сыпучим материалом. Представлен порядок проведения экспериментального исследования, а также аналитические расчеты основных показателей, обеспечивающих успешное раскрытие гибкого контейнера.

Ключевые слова: воздухопроницаемость, гибкий контейнер, фасовка, предварительное раскрытие

G. N. Ovchinnikov, A. D. Zhokhov, A. S. Panyulaitis, A. M. Makarov

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE
OF THE PUMPING SYSTEM PERFORMANCE ON THE AIR PERMEABILITY
OF FLEXIBLE CONTAINERS DURING THE PRE-OPENING PROCESS**

Volgograd State Technical University

An experimental and analytical study of the dependence of the performance of the pumping system of the vacuum gripper device on the air permeability of flexible containers for their preliminary opening during the bulk packing process has been carried out. The procedure for conducting an experimental study is presented, as well as analytical calculations of the main indicators that ensure the successful opening of a flexible container.

Keywords: breathability, flexible container, packing, pre-opening

Гибкие контейнеры из различных материалов – сложная с точки зрения автоматического манипулирования, мягкая тара непостоянной формы.

Для рассмотрения процесса манипулирования гибкими контейнерами нами использовалось устройство для автоматического манипулирования гибкими контейнерами, описание и принцип работы которого представлен в патенте [1]. Исследуемое устройство включает в

себя два функционально важных узла: узел предварительного раскрытия, в который входят подвижный и неподвижные вакуумные захваты, и механический захват. Можно утверждать, что наиболее сложным и требующим особого внимания этапом является предварительное раскрытие. Во время этого процесса контейнер должен быть аккуратно раскрыт, чтобы обеспечить правильное позиционирование и удобный доступ к его содержимому.

Для проведения эксперимента по оценке воздухопроницаемости гибких полипропиленовых контейнеров была изменена существующая установка, описанная в [2], путем подключения к плате микроконтроллера специального измерительного прибора – порозиметра. Данная установка, позволит проводить эксперименты в автоматизированном режиме. Структурная схема экспериментальной установки с автоматической системой управления представлена на рис. 1.

Порядок проведения эксперимента аналогичен указанному в работе [2]. Результаты измерения передавались на ЭВМ и обрабатывались. После чего формировалась таблица с результатами всех измерений.

Экспериментальные измерения проводились над пятью образцами полипропиленовых мешков, рассчитанных на 50 кг. Для исключения ошибочных измерений для каждого образца было проведено по пять измерений. Результаты измерений представлены в таблице.

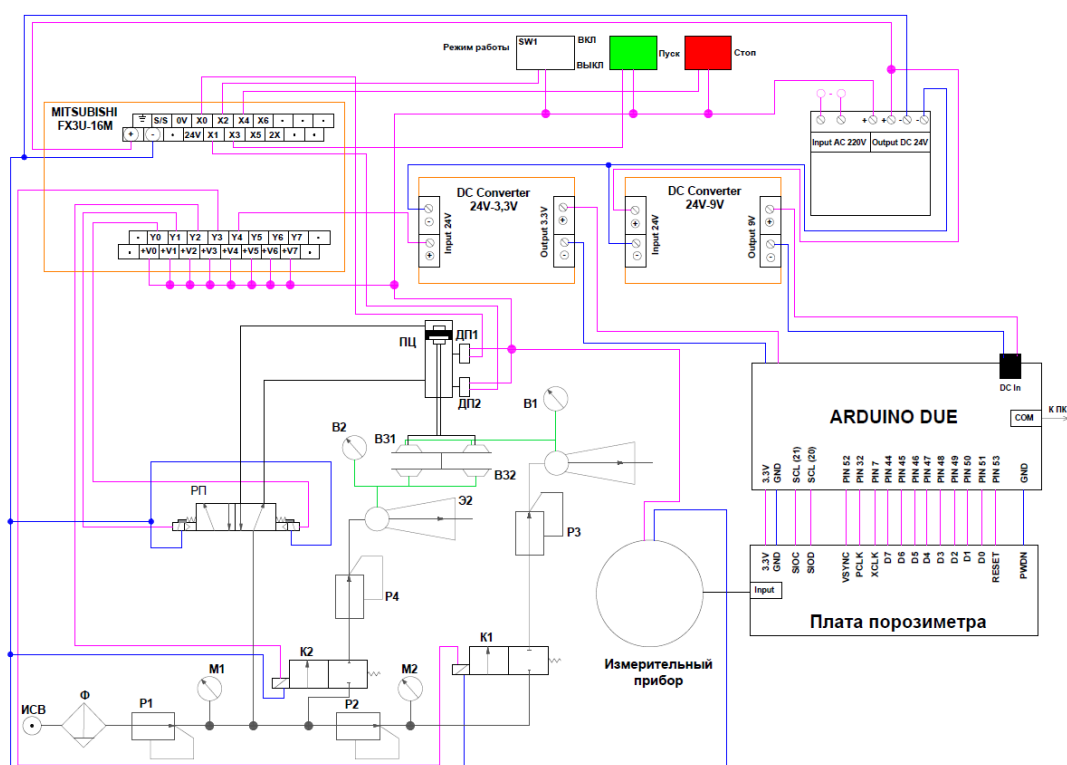


Рис. 1. Структурная схема лабораторной установки:

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, ДП – датчик положения, Измерительный прибор – порозиметр

Результаты проведения эксперимента

№ образца	1					2					3					4					5				
№ экс-та	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Рез. измер., л/ч	151	147	153	150	152	145	143	142	143	144	161	154	158	157	156	148	150	151	152	151	152	152	154	150	151
Ср. знач., л/ч	150,6					143,4					157,2					150,4					151,8				

По результатам проведенного эксперимента был составлен график, который представлен на рис. 2.

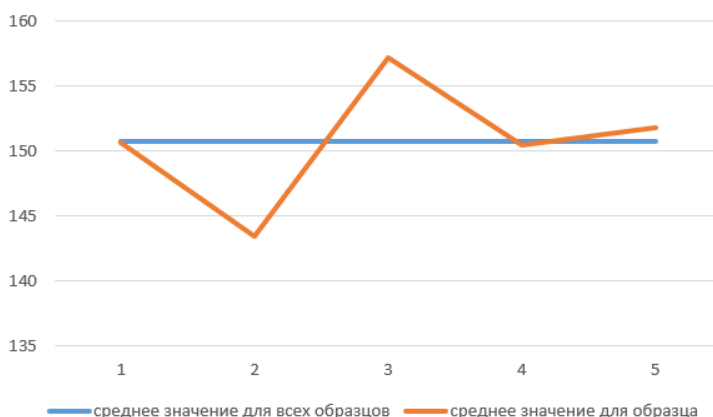


Рис. 2. График результатов измерений

Результаты исследования показали, что средняя воздухопроницаемость полипропиленовых мешков равно 150,7 л/ч (для дальнейших расчетов примем приближенное к среднему $Q = 150$ л/ч).

Далее представлен аналитический расчет основных параметров процесса предварительного раскрытия гибкого контейнера.

Сила сцепления вакуумных присосок определяется по формуле:

$$F_{\text{сц}} = S \cdot P, \quad (1)$$

где $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления, Н; S – площадь контакта, м²; P – давление вакуума, Па.

Сила сцепления должна быть равной или превышать по значению силу F , которая требуется для раскрытия контейнера. Опираясь на результаты исследований, изложенных в [3], примем значение $F_{\text{сц}} = 5$ Н. Диаметр одной присоски примем равным 20 мм (0,02 м), а их количество равным 4, исходя из компонентов исследуемого устройства.

Площадь контакта присоски найдем по формуле:

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot n, \quad (2)$$

где S – площадь контакта, м²; d – диаметр присоски, м; n – количество присосок.

Подставляя значения в уравнение (2), получим:

$$S = 3,14 \cdot 0,02^2 / 4 \cdot 4 = 0,001256 \text{ м}^2.$$

Выразим и определим из формулы (1) давление вакуума, которое будет создано внутри присоски с помощью вакуумного насоса:

$$P = \frac{5}{0,001256} = 3980 \text{ Па}.$$

Для того, чтобы в дальнейшем было проще выбрать насос, требуется перевести давление вакуума в системе в объем воздуха, который необходимо вывести из системы. Для этого воспользуемся законом Бойля-Мариотта [4], который описывает зависимость между давлением и объемом газа при постоянной температуре. Выведем из равенства параметр V_2 – конечный объем воздуха в системе:

$$V_2 = P_1 \cdot \frac{V_1}{P_2}, \quad (3)$$

Начальный объем воздуха V_1 , можно рассчитать, используя формулу объема цилиндра. За диаметр цилиндра примем внутренний диаметр трубки, соединяющей насосное устройство с присосками (0,006 м), за высоту цилиндра длину трубки (2 м). Тогда получим:

$$V_1 = \pi \cdot \frac{0,006^2}{4} \cdot 2 = 0,00005652 \text{ м}^3 = 0,05652 \text{ л}.$$

Конечное давление в системе P_2 найдем как разницу начального давления P_1 ($P_{\text{атм}} = 101$ кПа) и вакуумного давления в системе P :

$$P_2 = 101 - 3,98 = 97,02 \text{ кПа}.$$

Теперь подставим все значения в формулу (3):

$$V_2 = \frac{101 \cdot 0,00005652}{97,02} = 0,00005884 \text{ м}^3 = 0,05884 \text{ л}.$$

Для определения объема воздуха, который должен выйти из системы, требуется вычесть из конечного объема воздуха, начальный:

$$V = V_2 - V_1 = 0,05884 - 0,05652 = 0,00232 \text{ л}.$$

Для нахождения производительности насосного оборудования, необходимо принять,

что для нормальной работы системы время, за которое должно создаваться заданное вакуумное давление, не должно быть больше 1 секунды. В таком случае, производительность насосного оборудования можно рассчитать по формуле:

$$Q_n = \frac{V}{t}, \quad (4)$$

где Q_n – требуемая производительность насосного оборудования; V – объем воздуха, м^3 ; t – время выхода на заданное вакуумное давление, с.

$$Q_n = \frac{0,00232}{1} = 0,00232 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Таким образом, выяснилось, какой объем воздуха необходимо откачать из системы, чтобы создать требуемое давление вакуума для раскрытия полипропиленового мешка. Но в приведенных расчетах не учитываются потери на воздухопроницаемость полипропиленового мешка.

$$Q_g = 150 \cdot 0,001256 \cdot 3,98 = 0,7498 \frac{\text{л}}{\text{ч}} \approx 0,75 \frac{\text{л}}{\text{ч}} \approx 0,00021 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Исходя из полученных значений, учитывая потери на воздухопроницаемость, можно найти требуемую производительность насоса, взяв

Один из способов приближенного расчета воздухопроницаемости мешка – использование закона Дарси [4]:

$$Q_g = \frac{S \cdot \Delta P \cdot k}{\mu}, \quad (5)$$

где Q_g – объемный расход воздуха мешок, $\text{м}^3/\text{ч}$; S – площадь поверхности мешка, м^2 ; ΔP – разность давлений по обе стороны мешка, Па; k – коэффициент проницаемости (пористости) материала мешка, μ – вязкость воздуха, Па·с.

Произведем перерасчет для нашей системы. Так как в нашей системе площадь контакта $S = 0,001256 \text{ м}^2$, а не 1 м^2 и разница давлений $\Delta P = 3,98 \text{ кПа}$, а не 1 кПа , то для нашей системы значение воздухопроницаемости получим, умножив экспериментальное значение на действительные значения площади контакта и разницы давлений:

сумму производительности насоса, не учитывая потери, и значение потерь на воздухопроницаемость:

$$Q = Q_n + Q_g \quad (6)$$

$$Q = 0,00232 + 0,00021 = 0,00253 \frac{\text{л}}{\text{с}} = 0,152 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

В результате проведения экспериментальных измерений на лабораторной установке получено фактическое значение воздухопроницаемости, которое в дальнейшем было использовано для расчета производительности насоса. Таким образом, мы выяснили, что необходимая и достаточная производительность насоса $Q = 0,152 \text{ л/мин}$.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке систем автоматизации процесса фасовки сыпучих материалов в гибкую тару.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 189814 Российская Федерация, МПК В65В 7/02, В65В 5/00. Устройство для автоматического манипулирования гибкими контейнерами / А. В. Ваганов,

- А. Е. Жуликов, А. М. Макаров ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – № 2018137357 ; заявл. 22.10.2018 ; опубл. 04.06.2019.

2. Макаров, А. М. Структурно-параметрический анализ и синтез мехатронных систем автоматической расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару : монография / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев, О. В. Мушкин ; ВолгГТУ. – Волгоград; Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 304 с.

3. Расчет и исследование вакуумного захватного устройства для захвата и удержания гибкого контейнера / Г. Н. Овчинников, А. С. Панюлайтис, А. М. Макаров, И. В. Волков // Известия ВолгГТУ. – 2022. № 3 (262). – С. 65–69.

4. Пузин, Ю. И. Учебно-методическое пособие по решению практических задач / Ю. И. Пузин // Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2005. – С. 3–4.