

4. *Розенберг И.Н., Беляков С.Л.* Программные интеллектуальные оболочки геоинформационных систем. – М.: Научный мир, 2010.
5. *Берштейн Л.С., Беляков С.Л., Боженик А.В.* Использование нечетких темпоральных графов для моделирования в ГИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1 (126). – С. 121-127.
6. *Zimmerman H.-J.* Fuzzy Set Theory and Its Applications (2nd edition). – Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1991. – 435 p.
7. *Belyakov S., Savelyeva M.* The construction of fuzzy time-dependent route in geographic information system // Proc. “East West Fuzzy Colloquium 2013 20thZittau Fuzzy Colloquium”, 2013. – P. 63-69.
8. *С.Л.Беляков, Белякова М.Л., Розенберг И.Н., Савельева М.Н.* Прецедентный анализ маршрутов на электронных картах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 1 (132). – С. 82-89.
9. *Беляков С.Л., Савельева М.Н.* Кластеризация при логистическом рутинге // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 4 (129). – С. 242-247.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Беляков Станислав Леонидович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: beliacov@yandex.ru. 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371695; кафедра информационно-аналитических систем безопасности; д.т.н.; профессор.

Белякова Марина Леонтьевна – e-mail: asni@fep.tti.sfedu.ru; кафедра информационных измерительных технологий и систем; к.т.н.; доцент.

Боженик Александр Витальевич – e-mail: avb002@yandex.ru; кафедра информационно-аналитических систем безопасности; д.т.н.; профессор.

Савельева Марина Николаевна – e-mail: marina.n.savelyeva@gmail.com; кафедра информационных измерительных технологий и систем; к.т.н.; ассистент.

Belyakov Stanislav Leonidovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: beliacov@yandex.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371695; the department of applied information science; dr.of eng. sc.; professor.

Belyakova Marina Leontyevna – e-mail: asni@fep.tti.sfedu.ru; the department of automated systems for research; cand. of eng. sc.; associate professor.

Bozhenyuk Alexander Vitalievich – e-mail: avb002@yandex.ru; the department of applied information science; dr. of eng. sc.; professor.

Savelyeva Marina Nikolaevna – e-mail: marina.n.savelyeva@gmail.com; the department of automated systems for research; assistant.

УДК 62-522.7

Е.В. Стегачев, М.Г. Кристаль, Г.В. Ольховик

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ПРЕДМЕТОВ С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ЗАХВАТЫВАНИЯ

Рассмотрены пневматические хватные устройства (ПЗУ) с созданием вихревого потока тангенциальной подачи рабочей среды в цилиндрическую вихревую камеру, с последующим увеличением тангенциальной составляющей скорости струи вращением стенок или питающих сопел камеры, что увеличивает степень разрежения в приосевой зоне вихревой камеры и повышает грузоподъемность ПЗУ. Предложены конструкции с созданием разнонаправленных струй воздуха, обеспечивающих автоматическое предварительное базирование

по углу поворота и центрирование предметов производства с последующим захватом. Предложена модель, позволяющая определить условия и динамику процесса захватывания предметов с малой площадью захватывания в зависимости от конструкторско-технологических параметров предлагаемого устройства и детали. Проведены экспериментальные исследования опытного образца ПЗУ с кольцевой вихревой камерой, предназначенного для захватывания предметов производства с малой площадью захватывания (кольцо 086-092-36-2-4 ГОСТ 9833-73), экспериментально подтверждена правомочность использования теоретических расчетов при проектировании предлагаемых ПЗУ повышенной эффективности.

Пневматическое захватное устройство; промышленные роботы; вихревой воздушный поток; вихревые камеры.

E.V. Stegachev, M.G. Kristal, G.V. Olhovik

FLOW VORTEX GRIPPERS FOR INDUSTRIAL ROBOTS FOR OBJECTS WITH LOW SURFACE AREA GRIPPING

Considered pneumatic grippers (ROM) to create a swirling flow of working medium fed tangentially into a cylindrical swirl chamber, with the subsequent increase in the tangential component of the rotation velocity of the jet nozzle walls or supply chamber, which increases the degree of vacuum in the axial zone of the vortex chamber and the capacity of ROM increases. Proposed design with the creation of multidirectional air jets that provide an automatic pre-basing the angle of rotation and centering objects production with subsequent capture. A model that allows to determine the conditions and the dynamics of grasping objects with small area entrainment depending on design and technological parameters of the device and details. Experimental research prototype ROM annular swirl chamber designed for grasping objects with a small area of production entrainment (GOST 9833-73 086-092-36-2-4 ring) experimentally confirmed the legitimacy of the use of theoretical calculations for the design of the proposed ROM increased efficiency.

Flow vortex gripper; industrial robots; swirl airflow; vortex chamber.

В настоящее время, в серийном и мелкосерийном производствах для подачи предметов производства (ПП) в технологическое оборудование, применяются промышленные роботы и автоматические манипуляторы, снабженные захватными устройствами различных типов. Среди них можно выделить пневматические захватные устройства (ПЗУ), содержащие вихревые камеры (ВК) в виде полуоткрытых цилиндров с тангенциальными питающими соплами. Истекающие из этих сопел струи сжатого воздуха создают вихревой воздушный поток, в средней части которого образуется разрежение. Они универсальны, просты по конструкции, долговечны и надежны в работе, не требовательны к физическим свойствам захватываемых предметов, обладают способностью центрирования ПП при их захватывании. Однако эти устройства имеют ограничения грузоподъемности, обусловленные недостаточной степенью разрежения в захватной области ПЗУ, из-за потерь энергии в вихревом воздушном потоке на трение о стенки ВК и на сопротивление в питающих соплах, что снижает эффективность их использования.

Зачастую, при подаче деталей на позицию сборочного автомата необходимо их захватывание по торцевым поверхностям малой площади. К предметам с малой площадью захватывания (МПЗ) можно отнести сепараторы, кольца и ролики подшипников качения, а также различные уплотнительные элементы (прокладки плоские эластичные, резиновые уплотнительные кольца, резиновые армированные манжеты для валов, манжеты шевронных уплотнений и др.). Захватывание данных предметов затруднено в силу низкого уровня усилий, создаваемых в зоне действия ПЗУ. Это обусловлено, помимо перечисленного выше, дросселированием потока воздуха в вакуумных каналах малого сечения (размер сечения определяется МПЗ предмета), и смещением ПП относительно оси ПЗУ.

Нами предложено увеличить уровень разрежения в захватной области ПЗУ за счет вращения стенок и питающих сопел вихревой камеры, обеспечивающего дополнительную составляющую тангенциальной скорости вихревого потока, истекающего из ВК [1]. Для улучшения условий предварительного центрирования и последующего захватывания предметов с МПЗ предложено одновременно воздействовать на ПП разнонаправленными вихревыми потоками, создаваемыми в кольцевых камерах с вращающимися стенками. На рис. 1 показана предлагаемая схема ПЗУ с кольцевыми вихревыми камерами. При подаче давления $P_{\text{вх}}$ питания в кольцевую камеру нагнетания (КН), воздух, посредством тангенциальных сопел (ТС), подается в кольцевую вихревую камеру (КВК), где раскручивается и образует вихревой воздушный поток. За счёт трения потока о наружную цилиндрическую поверхность втулки (В), установленной в опорах вращения (ОВ), обеспечивается её вращение относительно центральной оси. При встрече истекающего из КВК вихревого потока с поверхностью установки предмета производства (ПП), в приосевой области ПЗУ создается разрежение, а по периферии область избыточных давлений, что обеспечивает предварительное центрирование захватываемых предметов с МПЗ.

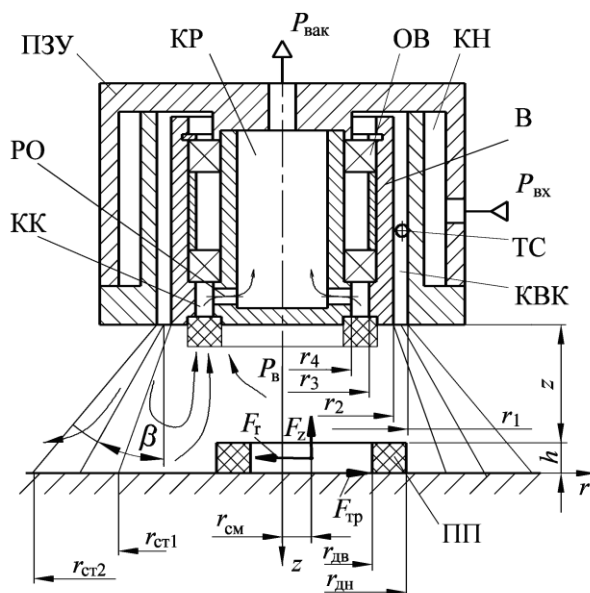


Рис. 1. Схема ПЗУ с кольцевыми вихревыми камерами для захватывания предметов с МПЗ

Одновременно источник разрежения $P_{\text{вак}}$ коммутируется с камерой разрежения (КР), и далее, посредством радиальных отверстий (РО), с вакуумным кольцевым каналом (КК) с вращающейся стенкой, что обеспечивает создание восходящего вихревого потока с последующим захватыванием предварительно сцентрированного ПП.

Для исключения необходимости использования внешних источников разрежения $P_{\text{вак}}$ нами также предлагается схема ПЗУ с кольцевой ВК и встроенным эжектором [2], обеспечивающим требуемое разрежение в нижней части вакуумного кольцевого канала.

Разработана модель, позволяющая определить условия процесса захватывания предмета с МПЗ в зависимости от следующих характеристик системы «захватное устройство – предмет производства»: $P_{\text{вак}}$ – разрежение, подводимое к вакуумной кольцевой камере; $f_{\text{вк}}$ – суммарная площадь тангенциальных питающих сопел; R – средний радиус подачи воздуха в КВК; r_1, r_2 – наружный и внутренний радиусы кольцевой вихревой камеры; r_3, r_4 – наружный и внутренний радиусы вакуумной кольцевой камеры; $r_{\text{дн}}, r_{\text{дв}}$ – наружный и внутренний радиусы ПП; h – высота ПП; $r_{\text{см}}$ – смещение между осями ПП и ПЗУ; z – расстояние между ПЗУ и поверхностью установки ПП.

С учетом принятых допущений [3] получена функциональная зависимость давления $P(r)$ в захватной области ПЗУ от радиальной координаты r :

$$P(r) = \begin{cases} P_{\text{в}}(1-r/r_{\text{ст1}})^{3,8}, & \text{при } 0 < r < r_{\text{ст1}} \\ 0,5 \rho V_{\xi m}^2 (1-3\eta^2 + 2\eta^3)^2, & \text{при } r_{\text{ст1}} < r < r_{\text{ст2}} \\ 0, & \text{при } r > r_{\text{ст2}} \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{\text{в}}$ – величина разрежения, создаваемого в приосевой области вихревой камеры [4], $r_{\text{ст1}}, r_{\text{ст2}}$ – соответственно радиальные координаты линии встречи внутренней и внешней границ вихревого потока с поверхностью установки ПП; $V_{\xi m}$ – максимальная величина осевой составляющей скорости потока; $\eta = f(r, z)$ – безразмерный параметр, функционально зависящий от радиальной координаты r и расстояния z .

Также получена зависимость разрежения $P_{\text{в}}(z)$ на поверхности предварительно сцентрированного ПП от расстояния z :

$$P_{\text{в}}(z) = P_{\text{вак}} / (1 + 0,5 \bar{z}), \quad (2)$$

где $\bar{z} = z / (r_3 - r_4)$ – коэффициент положения.

Интегрированием величин давлений (1) и (2) по поверхностям ПП определены зависимости приведенных к центру масс ПП, результирующих сил: F_r – обеспечивающую центрирование предмета и F_z – обеспечивающую захватывание предмета. Тогда динамические показатели процесса центрирования и последующего захватывания ПП определяются из:

$$\ddot{r} - K_1^2 r - g \mu_{\text{т}} \text{sign}(\dot{r}) = 0, \quad (3)$$

$$\ddot{z} + K_2^2 z - g = 0, \quad (4)$$

где $K_1^2 = F_r / (mr)$ – коэффициент, определяющий частотные характеристики колебаний ПП при его центрировании; $\mu_{\text{т}}$ – коэффициент трения скольжения ПП по поверхности установки ПП, учитывающий влияние сопротивления силы трения $F_{\text{тр}}$; $K_2^2 = F_z / (mz)$ – коэффициент, определяющий скорость движения захватываемого ПП.

Исследование модели выполнено для предмета производства – кольцо 086-092-36-2-4 ГОСТ 9833-73, в следующих интервалах параметров: $P_{\text{вак}} = 10 \dots 50$ кПа; $P_{\text{вак}} = 2 \dots 7$ кПа; $f_{\text{вк}} = 16$ мм²; $r_1 = 56$ мм, $r_2 = 48$ мм; $r_3 = 41,5$ мм, $r_4 = 43$ мм. Установлено, что максимальная величина допустимого радиального смещения $r_{\text{см}}$, при котором происходит центрирование и последующее захватывание предмета, для

расстояний $z = 1 \dots 3$ мм составляет 22...30 мм. Численным решением уравнений (3) и (4) определено время t захватывания предмета, составляющее 0,2...0,38 с.

Проведены экспериментальные исследования опытного образца ПЗУ с кольцевой вихревой камерой, предназначенного для захватывания колец 086-092-36-2-4 ГОСТ 9833-73. Исследования выполнены на экспериментальной установке в следующих интервалах параметров: давление питания $P_{\text{вк}} = 10 \dots 50$ кПа, величина разрежения $P_{\text{вак}} = 2,5 \dots 7$ кПа. Установлено, что в диапазоне коэффициента положения $\bar{z} = z / (r_3 - r_4) < 1 \dots 1,5$, экспериментальные значения соответствуют расчетным значениям величин давления на поверхности установки ПП и разрежения на поверхности сцентрированного предмета с МПЗ при его захватывании, с погрешностью, не превышающей 10 %. Методом хронофотографии установлено, что экспериментальные траектории движения ПП при центрировании и захватывании близки к расчетным значениям (рис. 2).

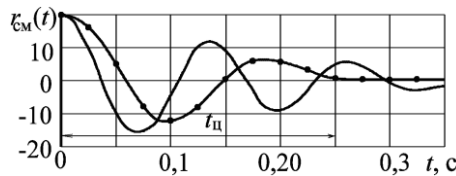


Рис. 2. Расчетная и экспериментальная траектории движения ПП при центрировании ($P_{\text{вак}} = 5$ кПа, $P_{\text{вк}} = 50$ кПа, $z = 3$ мм), $t_{\text{ц}}$ – время центрирования ПП

Результаты экспериментальных исследований подтверждают правомочность использования теоретических расчетов при проектировании предлагаемых ПЗУ повышенной эффективности.

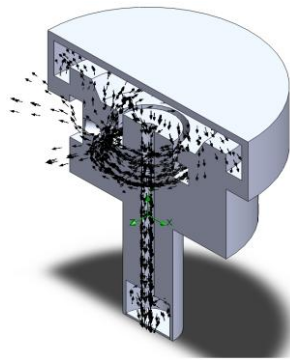


Рис. 3. Твердотельная модель захватного органа струйного загрузочного устройства с указанием направления течения струй воздуха

Исследуемый способ получения вихревого потока в кольцевых вихревых камерах может быть использован и для создания струйных загрузочных устройств. Учитывая свойство предметов, находящихся в вихревом потоке, ориентироваться относительно оси вихревого потока, нами предлагается струйное вихревое загрузочное устройство, предназначенное для предметов производства типа тел вращения, в котором в качестве захватных органов загрузочного бункера используются перевернутые ПЗУ. На рис. 3 изображена твердотельная модель одного из захватных органов, установленных в дно бункерного струйного загрузочного устройства,

полученная с использованием программного продукта SolidWorks, с указанием направления течения струй воздуха при расчете в программном продукте Flow Simulation. Для увеличения тангенциальной скорости вихревого потока одна из стенок камеры может быть выполнена с возможностью вращения [5]. Особенностью такой конструкции является создание вихревых потоков в узких кольцевых вихревых каналах с вращающейся стенкой, обеспечивающих снижение дросселирования течения воздуха в этих каналах. При этом происходит осевое ориентирование ПП в восходящем вихревом потоке, вращающем и ориентирующем ПП симметрично осевым линиям восходящего вихревого потока, тем самым, обеспечивая совмещение оси вращающегося предмета с осью загрузочного канала, с последующим его транспортированием по каналу под воздействием нисходящего вихревого потока сжатого воздуха.

Для осуществления предварительного автоматического базирования деталей по углу поворота с центрированием и последующим захватом предлагается конструкция ПЗУ [6], схема работы которого представлена на рис. 4. В состав ПЗУ входит конструкция «стола» с наклонными соплами, обеспечивающими вращение с угловой скоростью ω предмета производства на воздушной подушке, создаваемой струями сжатого воздуха при подключении сопел к источнику давления $P_{\text{пит}}$ питания.

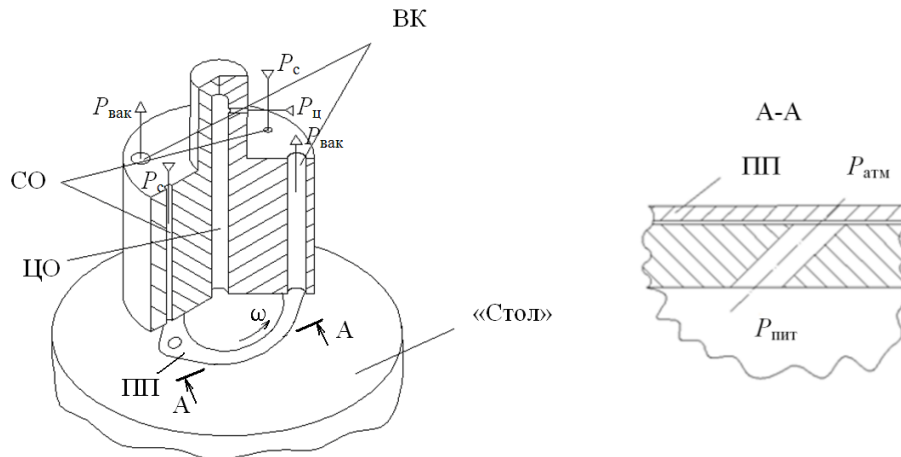


Рис. 4. Схема ПЗУ с предварительным автоматическим базированием ПП с МПЗ по углу поворота и центрированием

При подаче давления $P_{\text{пит}}$ питания в камеру с центрирующим отверстием ЦО, воздух с высокой скоростью вылетает наружу ПЗУ, где встретив преграду в виде плоскости установки ПП, поворачивается на 90 градусов и движется в радиальном направлении через зазор между торцом ПЗУ и поверхностью стола. Воздух, движущийся в радиальном направлении, взаимодействует с внутренней поверхностью захватываемого кольцевого ПП, что приводит к созданию результирующей силы, направленной в сторону совмещения осей ПП и ПЗУ. Далее подается $P_{\text{пит}}$ в сопла стола, тем самым, заставляя ПП вращаться с угловой скоростью ω . Затем, при подаче давления $P_{\text{с}}$ в сопла останова СО, формируются струи, взаимодействующие с внутренней поверхностью отверстий, расположенных по периферии ПП, в результате чего возникают силы, под воздействием которых ПП останавливается. Таким образом, деталь сцентрирована относительно оси ПЗУ и занимает требуемое положение по углу поворота и готова к захватыванию по вакуумным каналам ВК, за счёт подключения источника разрежения с величиной $P_{\text{вак}}$.

Для определения оптимальных режимов работы предлагаемого ПЗУ при центрировании с последующим захватом ПП предложена компьютерная модель захватного устройства [7]. Созданная экспериментальная установка подтвердила возможность предварительного центрирования и базирования по углу поворота под воздействием разнонаправленных струй воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Кристалль М.Г., Стегачев Е.В., Филимонов В.В., Еремеев В.В., Шостенко С.В., Широкий А.В.* Пневматический схват // Патент России на изобретение № 2199432 05.03.2001.
2. *Кристалль М.Г., Стегачев Е.В., Филимонов В.В., Еремеев В.В., Шостенко С.В., Широкий А.В.* Вакуумное захватное устройство // Патент России на изобретение № 2179504 17.11.2000.
3. *Стегачев Е.В.* Повышение эффективности пневмовихревых захватных устройств промышленных роботов: Дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2005. – 226 с.
4. *Кристалль М.Г., Стегачев Е.В.* Моделирование пневмовихревого захватного устройства с вращающейся вихревой камерой // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – № 1. – С. 19-23.
5. *Кристалль М.Г., Попов В.В., Шостенко С.В., Широкий А.В., Стегачев Е.В., Еремеев В.В.* Струйное загрузочное устройство // Патент России на изобретение № 2199428 05.03.2001.
6. *Стегачев Е.В., Кристалль М.Г., Татаринцев Д.Ю., Рыжов В.В., Рыбников А.С.* Пневматическое захватное устройство // Патент России на полезную модель № 104888 22.12.2010.
7. *Кристалль М.Г., Стегачев Е.В., Волчков В.М., Татаринцев Д.Ю., Шишаева А.С.* Компьютерное моделирование процесса захвата уплотнительных колец пневматическим захватным устройством // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 10. – С. 3-6.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Н.И. Чернов.

Стегачев Евгений Вячеславович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет»; e-mail: sev@vstu.ru; 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28; тел.: 88442248119; кафедра автоматизации производственных процессов; доцент.

Кристалль Марк Григорьевич – e-mail: crysmar@mail.ru; тел.: 88442248448; кафедра автоматизации производственных процессов; профессор.

Ольховик Глеб Вячеславович – e-mail: app@vstu.ru; тел. 88442248443; кафедра автоматизации производственных процессов; магистрант.

Stegachev Evgeny Vyacheslavovich – Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Vocational Education “Volgograd State Technical University”; e-mail: sev@vstu.ru; 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russia; phone: +78442248119; the department of automation of production processes; associate professor.

Kristal Mark Grigor'evich – e-mail: crysmar@mail.ru; phone: +78442248448; the department of automation of production processes; professor.

Olhovich Gleb Vyacheslavovich – e-mail: app@vstu.ru; phone: +78442248443; the department of automation of production processes; master student.