

На правах рукописи



БЛАЖНОВ АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ

**ВИХРЕВЫЕ ВАКУУМНЫЕ ЗАХВАТНЫЕ
УСТРОЙСТВА РОБОТОВ И МЕТОДИКА
ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Специальность 05.02.05 - Роботы, мехатроника
и робототехнические системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2017

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого".

Научный руководитель: **Клюкин Валерий Юрьевич**
кандидат технических наук, доцент ФГАОУ ВО "СПб политехнический университет Петра Великого"

Официальные оппоненты: **Шароватов Валерий Тимофеевич**
доктор технических наук, профессор, Балтийский государственный технический университет "ВОЕН-МЕХ" им. Д.Ф. Устинова", профессор кафедры "Системы приводов, мехатроника и робототехника"

Шалобаев Евгений Васильевич
кандидату технических наук, доцент ФГАОУ ВО "СПб национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики"

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, г. Санкт-петербург

Защита состоится 12 сентября 2017 г в 14 часов на заседании диссертационного Совета Д212.229.12 при ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" по адресу: 195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" и на сайте www.spbstu.ru.

Автореферат разослан _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Евграфов А. Н.

Актуальность темы диссертации

Обеспечение способности промышленных роботов качественно выполнять задачи захвата объектов, их надежного удержания во время переноса и точного базирования на заданных позициях потребовало создания большого числа разнообразных захватных устройств. К захватным устройствам роботов предъявляются множество технических требований, к числу которых, относятся обеспечение возможности захвата объектов с различными формами поверхностей при создании технологически необходимого удерживающего усилия. При манипулировании некоторыми типами объектов предъявляются дополнительные, порой очень жесткие, требования к обеспечению сохранности поверхностей, с которыми происходит взаимодействие захватного устройства. Для реализации широкого спектра предъявляемых к захватным устройствам требований порой приходится прибегать к оснащению роботов сменными захватными устройствами. В литературе приведено множество различных схемных и конструктивных решений таких устройств.

Научно-техническое обеспечение проектирования роботизированных систем, роботов в целом, их составных частей, модулей и устройств создавалось в шестидесятые-семидесятые годы XX века и совершенствуется до сегодняшнего дня. Здесь в первую очередь следует отметить монографии С.Ф. Бурдакова, С.М. Делиева, Ю.Г. Козырева, С.Н. Колпашникова, А.И. Корендясева, И.Б.Челпанова, Е.И. Юревича, Р.М. Бакирова, Ю.В. Подураева, Е.В. Шалобаева и др. В трудах этих и других ученых, были рассмотрены вопросы расчета и проектирования захватных устройств.

Однако на практике встречаются задачи, в которых требуется минимальное контактное взаимодействие между захватным устройством и объектом манипулирования, например, в устройствах, используемых в электронной промышленности, при производстве окрашенных изделий, в различных областях промышленности, связанных с переносом тонких плёнок и хрупких объектов. Подавляющее большинство известных и широко применяемых захватных устройств имеют ограниченные возможности по удержанию объектов с минимальным контактным взаимодействием. Существенно большие возможности при решении этой задачи позволяет по-

лучить использование рассматриваемого в данной работе принципа создания вакуума в рабочей камере захватного устройства с помощью вихревого течения газа. Захватные устройства, построенные на этом принципе, до сих пор проанализированы лишь в редких практических применениях. Одними из первых исследователей промышленных струйных и вихревых захватных устройств можно считать С.Н. Аксенова, В.А. Головня и В.Я. Краснослободцева. С течением времени потребность в подобных устройствах выросла в связи с развитием электронной промышленности и производства в целом. Не были проведены подробные исследования, основанные на использовании компьютерных моделей таких устройств. Патентный поиск показал, что большинство патентов связано с вихревыми генераторами вакуума, а не с вихревыми захватными устройствами. Отсутствует и научно обоснованная методика проектирования вихревых захватных устройств.

В связи с этим тема диссертации, посвященной исследованию вихревых вакуумных захватных устройств и разработке методики их проектирования, представляется актуальной.

Объект исследования

Объектом исследования является вихревое захватное устройство как рабочий орган промышленного робота.

Предмет исследования

Предметом исследования является несущая способность и параметры вихревого вакуумного захватного устройства, определяемые аналитически с использованием упрощенной математической модели и по результатам расчета методом конечных элементов вихревых течений, создаваемых в камере струями сжатого газа.

Цель работы

Целью диссертационной работы является исследование вихревых захватных устройств роботов и разработка научно обоснованной методики их проектирования.

Основные задачи исследования

- выполнить аналитический обзор технических решений вакуумных захватных устройств и принципов удержания объектов манипулирования;

- проанализировать процессы, определяющие характеристики вихревых захватных устройств;
- предложить и обосновать математические газодинамические модели вихревого вакуумного захватного устройства;
- выполнить расчётное исследование динамических процессов, протекающих в вихревых захватных устройствах, предназначенных для роботизации технологических операций;
- выявить качественные и количественные соотношения, связывающие удерживающую силу вихревого захватного устройства с его геометрическими характеристиками, давлением и расходом сжатого газа;
- проанализировать качество и достоверность результатов расчёта течений газа, формирование пограничных слоёв при математическом моделировании методом конечных элементов в среде ANSYS FLUENT в зависимости от параметров разбиения модели захватных устройств на конечные элементы;
- систематизировать задачи манипулирования объектом при помощи вихревых захватных устройств, отличающиеся тем, что позиционирование и удержание объекта должно осуществляться при минимальном взаимодействии с захватным устройством;
- разработать научно обоснованную инженерную методику расчёта и проектирования вихревых захватных устройств роботов с заданными конечными параметрами;
- провести экспериментальное исследование макета вихревого захватного устройства для верификации результатов, полученных в работе аналитическим путём и конечно-элементным моделированием;
- разработать рекомендации по практическому использованию вихревых захватных устройств.

Положения, выносимые на защиту

- расчетная модель вихревого захватного устройства, исследованная методами компьютерного моделирования и позволяющая оценить его эффективность;

- метод оценки распределения давления внутри рабочей камеры вихревого захватного устройства, позволяющий определить его удерживающую силу;
- методика проектирования вихревых захватных устройств, предоставляющая возможность нахождения его конструктивных параметров, несущей способности и основанная на результатах моделирования вихревых процессов с учетом влияния пограничных слоев.

Методы и средства исследования

В диссертационной работе использованы известные методы математического анализа механики твердых тел и теории газодинамики. При выполнении численных расчетов использован программный пакет ANSYS FLUENT.

Научная новизна работы

- разработана и обоснована конечно-объемная модель вихревого захватного устройства, позволяющая моделировать сложные трёхмерные газодинамические процессы, протекающие в вихревой камере захватного устройства;
- создана приближенная математическая модель вихревого движения газа в рабочей камере захватного устройства;
- получены зависимости удерживающего усилия от геометрических параметров рабочей камеры захватного устройства.

Практическая значимость работы

Предложенные рекомендации и методики проектирования вихревых захватных устройств позволяют разработчикам определить конструктивные параметры устройств, обеспечивающие заданную несущую способность.

Достоверность научных положений и выводов

Достоверность научных положений и выводов, содержащихся в диссертации, подтверждается корректным использованием известных методов математического анализа механики твердых тел и теории газодинамики, а также корректным применением методов проведения физических экспериментов и использованием хорошо отработанного программного продукта метода конечных элементов - пакета ANSYS FLUENT. Результаты тео-

ретических расчетов подтверждены результатами экспериментальных исследований характеристик вихревых захватных устройств.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертации докладывались на конференциях:

1. II Международная научно практическая конференция "Современное машиностроение. Наука и образование" 14-15 июня 2012г, СПб;
2. III Международная научно практическая конференции "Современное машиностроение. Наука и образование" 20-21 июня 2013г, СПб;
3. XLII Неделя науки СПбГПУ Санкт-Петербург, 02-07 декабря 2013г

Публикации

По теме диссертации опубликовано 5 статей в научных изданиях, из них две статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК; "Научно-технические ведомости СПбГПУ IV (207) 2014" (203-210с.) и журнал "Науковедение" Том 7, №1 2015 (14с), и одна публикация в издании, входящем в список РИНЦ; "XLII НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбГПУ" (12-21с). Материалы научно-практической конференции с международным участием, СПб, 02-07 декабря 2013г.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертации составляет 138 страниц, включая 75 рисунков и 12 таблиц. Список литературы включает 111 наименований. Диссертация включает 5 приложений.

Краткое содержание работы

Во Введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цели и задачи, а также основные положения, выносимые на защиту, определена научная новизна и обоснована достоверность основных результатов.

В первой главе выполнен аналитический обзор используемых в робототехнике захватных устройств, работа которых основана на различных физических принципах; определены области их применения, в первую очередь, зависящие от требований к захватыванию и удерживанию объектов различных форм. Применительно к захватыванию плоских тонких или

коробчатых тонкостенных объектов широко используются вакуумные хватные устройства в виде присосок. Представлена классификация хватных устройств роботов. Особое внимание обращено на вакуумные хватные устройства, в которых сила, удерживающая объект, создается за счет разности атмосферного давления и вакуума в камере. Указано, что наиболее часто в классических вакуумных хватных устройствах разрежение в камере создается эжектором, питаемом от магистрали сжатого воздуха.

По результатам первой главы сформулированы задачи дальнейших исследований, направленных на создание математической модели, её исследование и разработку научно обоснованных методик расчёта и проектирования вихревых хватных устройств.

Во второй главе описан принцип действия вихревых хватных устройств. Проведен анализ факторов, влияющих на удерживающую способность вихревых хватных устройств, выделены основные критерии эффективности для данного типа хватных устройств.

Разработана упрощённая газодинамическая математическая модель процесса вращения газа в рабочей камере хватного устройства, на основе которой получены аналитические зависимости давления от радиуса камеры цилиндрической формы.

Специфика вихревых хватных устройств заключается в том, что разрежение в рабочей камере создается за счет вихря, формируемого струями выходящего из сопла сжатого газа и закручивающего его в этой камере. Газ, выходящий через кольцевую щель над плоскостью удерживаемого объекта, создаёт газовую подушку, обеспечивающую минимизацию контактного взаимодействия между объектом и хватным устройством. Схема вихревого хватного устройства показана на рисунке 1. Хватное устройство представляет собой цилиндрический корпус вихревой камеры 1. В вихревую камеру тангенциально через сопла 3, встроенные в стенки камеры, подаётся рабочий газ, подводимый из магистрали под давлением P_0 .

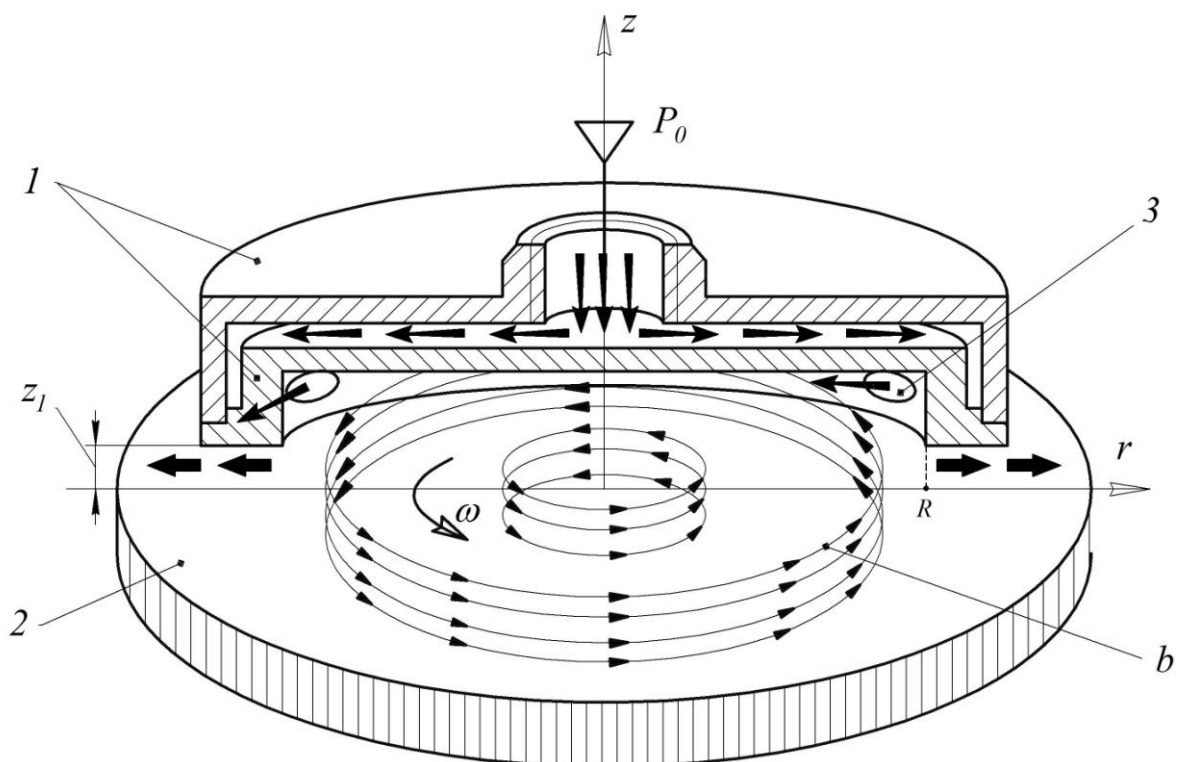


Рисунок 1. Схема вихревого захватного устройства

При этом внутри рабочей камеры захватного устройства возникает кольцевой вихрь b , с пониженным давлением в области, близкой к центральной оси камеры z и радиального потока под избыточным давлением в кольцевом зазоре z_1 между вихревой камерой и поверхностью удерживаемого объекта 2.

Для определения параметров захватных устройств рассматриваемого типа сначала была разработана упрощенная модель, при использовании которой удалось получить результаты в аналитическом виде. В ходе исследования был сформулирован ряд допущений, что позволило создать расчетную модель и в конечном результате получить формулы для расчета несущей способности захватного устройства на основании геометрических параметров вихревой камеры.

Упрощенная модель захватного устройства была разработана при допущении, что движение газа внутри рабочей камеры, за исключением тонкого пограничного слоя, происходит без относительного смещения слоев газа. Данное вихревое движение называют вынужденным вихрем.

В этом случае вязкость газа проявляется не в объеме, а только у границы, в тонком пограничном слое. При предположении, что распределение скоростей в камере не зависит от координаты \mathbf{z} по оси камеры, а абсолютное давление газа $p(r)$ и его плотность $\rho(r)$ зависят только от радиуса r , а также, что протекающий в камере процесс является изотермическим, была получена упрощенная зависимость давления от радиуса $p(r)$:

$$p(r) = p_0 \exp \left[- \frac{\rho \left(\frac{V_0}{R} \right)^2 (R^2 - r^2)}{2p_0} \right],$$

где V_0 – окружная скорость газа на внешнем радиусе рабочей камеры; R , p_0 – давление газа на внешнем радиусе камеры; R , ρ – плотность газа на внешнем радиусе камеры R . После разложения в степенной ряд интеграла выражения $p(r)$ получена зависимость для определения удерживающего усилия:

$$F_s = -\frac{\pi}{4} R^4 \rho(R) \omega^2 + \pi R^2 p(R) - \pi R^2 p_0$$

Таким образом, задача нахождения удерживающего усилия, характеризующего несущую способность захватного устройства и получаемой интегрированием приведённого выражения, сводится к определению окружной скорости V_0 газа у стенки камеры и угловой скорости вращения вихря.

Третья глава посвящена исследованию движения газа внутри вихревой камеры захватного устройства роботов на основе численного решения уравнений Навье-Стокса в частных производных для анализа распределения давления и скорости газа внутри рабочей камеры захватного устройства с целью получения эффективных значений геометрических размеров его рабочей камеры. При решении задачи анализа процессов вихревого течения в камере вихревого захватного устройства использовались численные методы конечно-объемного анализа. Движение рабочего газа в вихревой камере является сложным трёхмерным турбулентным течением. При решении задачи учитывалось влияние на конечный результат, как пограничного слоя, так и изменение температуры газа по объему. Реализации численного эксперимента предшествовали решения ряда вспомогательных задач, позволяющих определить параметры модели основной задачи.

Для проведения численного моделирования использовался вычислительный программный пакет ANSYS FLUENT. В данной работе по результатам численных расчетов, полученных с использованием ANSYS FLUENT, решается основная для вихревых захватных устройств задача определения распределения давлений на поверхности удерживаемого плоского объекта и аэродинамической силы, действующей на этот объект в зависимости от зазора между ним и камерой.

В рамках решения задачи криволинейного турбулентного течения в вихревой камере захватного устройства решались следующие подготовительные задачи:

- задача выбора и определения параметров вычислительной сетки для обоснования параметров разбиения на конечные элементы;

- задача определения теоретических расходных характеристик, решением которой можно проконтролировать отсутствие глобальной ошибки в результатах расчёта основной задачи и корректность формализованного представления задачи;

- определение параметров пограничных слоёв; пограничный слой формируется пристенными течениями, структура которых существенно отличается от основных течений в объеме, это отличие обусловлено повышенным влиянием вязкого трения потока газа у поверхности стенки.

Полученное в результате проведения компьютерных расчетов распределение давления внутри цилиндрической камеры вихревого захватного устройства рассматриваемого типа показано на рисунке 2.

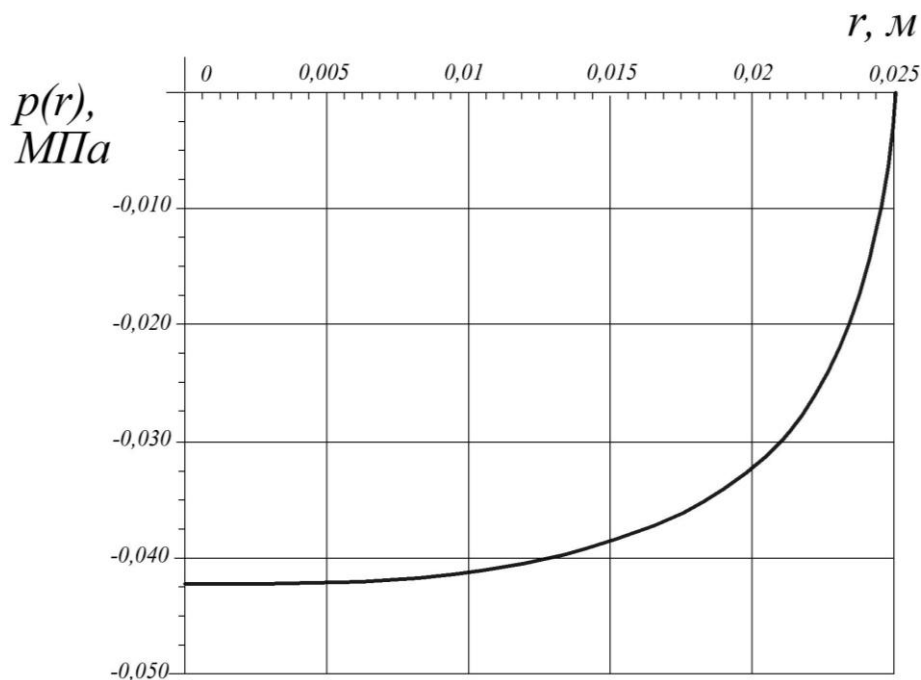


Рисунок 2. График изменения давления по радиусу вихревой камеры захватного устройства, рассчитанный с использованием пакета ANSYS FLUENT

Минимум давления достигается на оси камеры, это давление составляет несколько тысяч Па. В работе получены типовые зависимости этого показателя от геометрических параметров камеры при постоянном расходе рабочего газа.

При том, что основным является движение частиц газа по концентрическим окружностям, определенный интерес представляют меридиональные (вторичные) течения. В третьей главе оценены скорости этих движений частиц газа и их влияние на несущую способность захватного устройства.

Также в третьей главе освещены результаты исследований зависимости распределений давления в вихревой камере и несущей способности захватного устройства от различных геометрических и газодинамических параметров, в частности от диаметра D камеры и расхода сжатого газа, оцениваемого диаметрами входных сопел. Особое внимание уделено влиянию геометрических и газодинамических параметров вихревого захватного устройства на снижение расхода сжатого газа при сохранении несущей способности. Указанные результаты, полученные в этой главе, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты компьютерного моделирования несущей способности вихревого захватного устройства

№	Диаметр вихревой камеры, м	Давление в центре вихревой камеры, кПа	Среднее давление в вихревой камере, кПа	Удерживающее усилие ЗУ, Н
1	0,050	-46,7	-39,6	78
2	0,060	-42,1	-36,1	102
3	0,070	-38,3	-33,2	128
4	0,100	-29,5	-26,4	208
5	0,200	-9,0	-7,1	222

Графики изменения несущей способности захватного устройства представлены на рисунке 3. По графикам легко заметить, что для сопла диаметром $d=2$ мм оптимальным диаметром камеры D является размер близкий к значению 150 мм. В этом случае захватное устройство может статически удерживать груз массой до 30 кг.

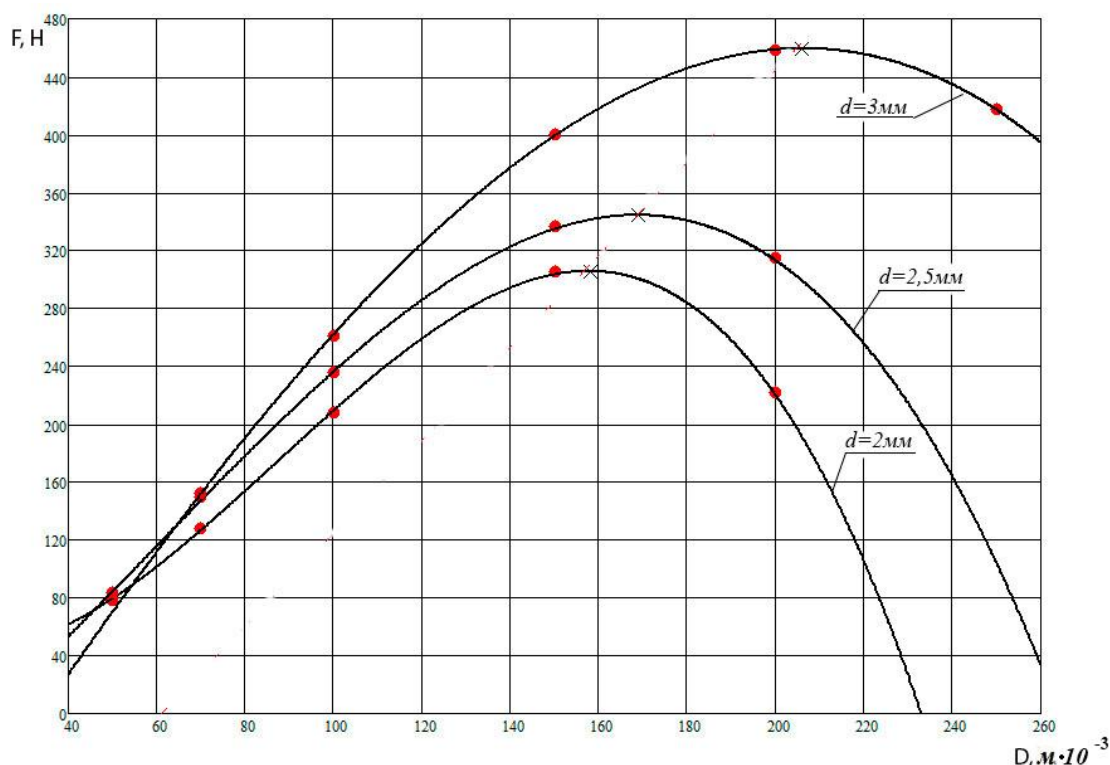


Рисунок 3. Графики зависимости несущей способности F от диаметра вихревой камеры D для различных диаметров сопел d . (● – данные полученные в результате численных экспериментов, × - максимальные удерживающие усилия).

Зависимости получены исходя из предположения, что зазор между вихревой камерой и удерживаемым объектом равен среднему значению 2мм, хотя в реальных условиях он определяется равновесным состоянием, зависящим от многих факторов. К числу таких факторов можно отнести: массу переносимого объекта, шероховатость и структуру захватываемой поверхности, влажность и степень отчистки подводимого газа, равномерность и стабильность давления подводимого газа, окружающую температуру, динамические нагрузки. Реально он будет меньше, что увеличивает несущую способность захватного устройства, и позволяет говорить о нижней оценке несущей способности.

В работе рассмотрена задача по выбору рекомендуемых для эффективной эксплуатации параметров захватных устройств. Методика определения указанных параметров может быть построена на основе результатов, полученных в ходе проведения численных экспериментов. Важными для этого являются результаты, приведенные в диссертационной работе, в виде графиков и таблиц, в частности, представленные на рисунке 3 и в таблице 1.

Определение параметров вихревого захватного устройства начинается с оценки требуемой несущей способности устройства, определяемой решаемыми технологическими задачами. По полученным в работе экспериментальным данным или зависимостям, аппроксимирующим их для требуемого удерживающего усилия определяется диаметр сопел d , соответствующий минимальному расходу газа. Далее определяется эффективный диаметр рабочей камеры D .

Представленные на рисунке 3 зависимости получены для конструкции с четырьмя подводными соплами ($n=4$). Для обеспечения технологичности при изготовлении сопел рассмотрены варианты уменьшения или увеличения их числа с одновременным изменением диаметра d , при сохранении, что особенно важно, их суммарной пропускной способности.

Высота рабочей камеры h определяется исходя из рекомендованного другими авторами и подтверждённого в работе отношения - $h/D=0,15-0,2$.

Четвёртая глава посвящена проведению экспериментального исследования макета вакуумного захватного устройства (рисунок 4) для под-

тверждения правильности полученных аналитическим и расчетным путем результатов. Экспериментальные исследования позволили выборочно проверить опытным путём некоторые из результатов исследований, полученных теоретически.

Для проведения экспериментального исследования был разработан макет вакуумного захватного устройства, представленный на рисунке 7. Диаметр рабочей камеры макета захватного устройства $D=60\text{мм}$, диаметр сопел $d=1,5\text{мм}$, число сопел $n=4$.

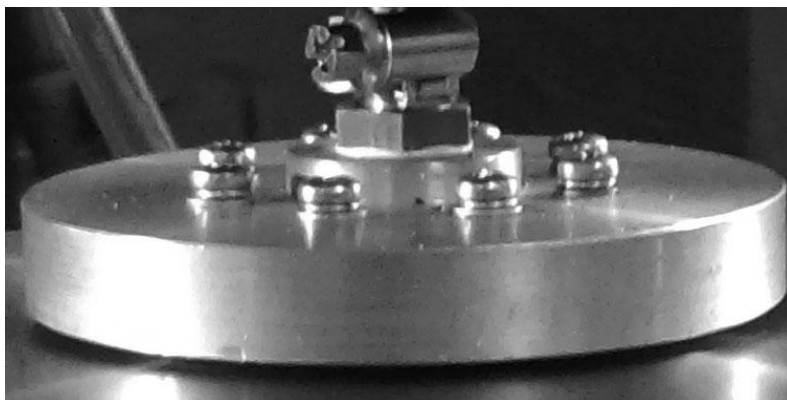


Рисунок 4. Исследуемый макет вакуумного захватного устройства.

В ходе экспериментального исследования макета вакуумного захватного устройства определялось удерживающее усилие F , создаваемое устройством.

Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 5. Для обеспечения вертикального перемещения был использован фрезерный трёхкоординатный станок (модель 676, производство КНР), с точностью перемещения по вертикальной оси - $0,05\text{мм}$. Захватное устройство закреплялось в патрон, непосредственно установлен-

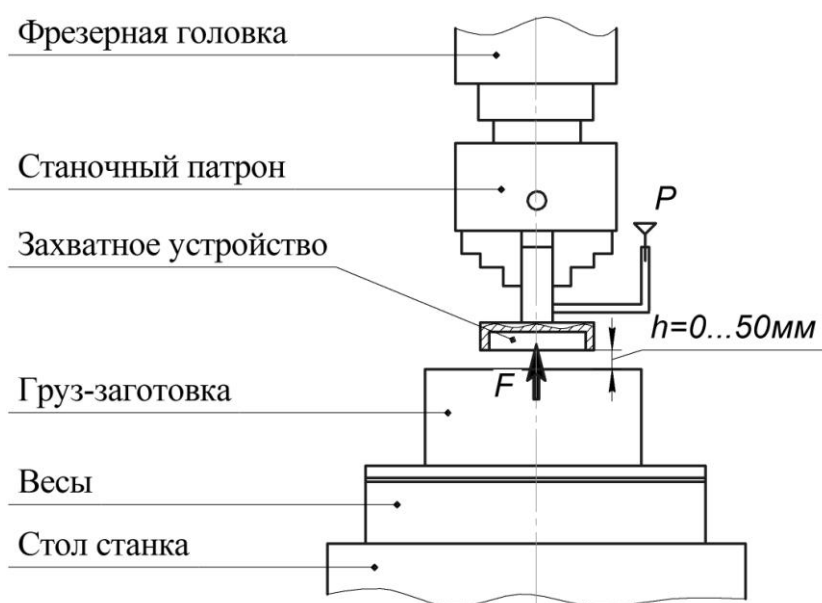


Рисунок 5. Схема экспериментальной установки

ный в головке фрезерного станка. На столе фрезерного станка были закреплены весы.

Проводились измерения удерживающего усилия F в зависимости от зазора h между заготовкой и корпусом захватного устройства. Результаты измерений приведены на графике 6.

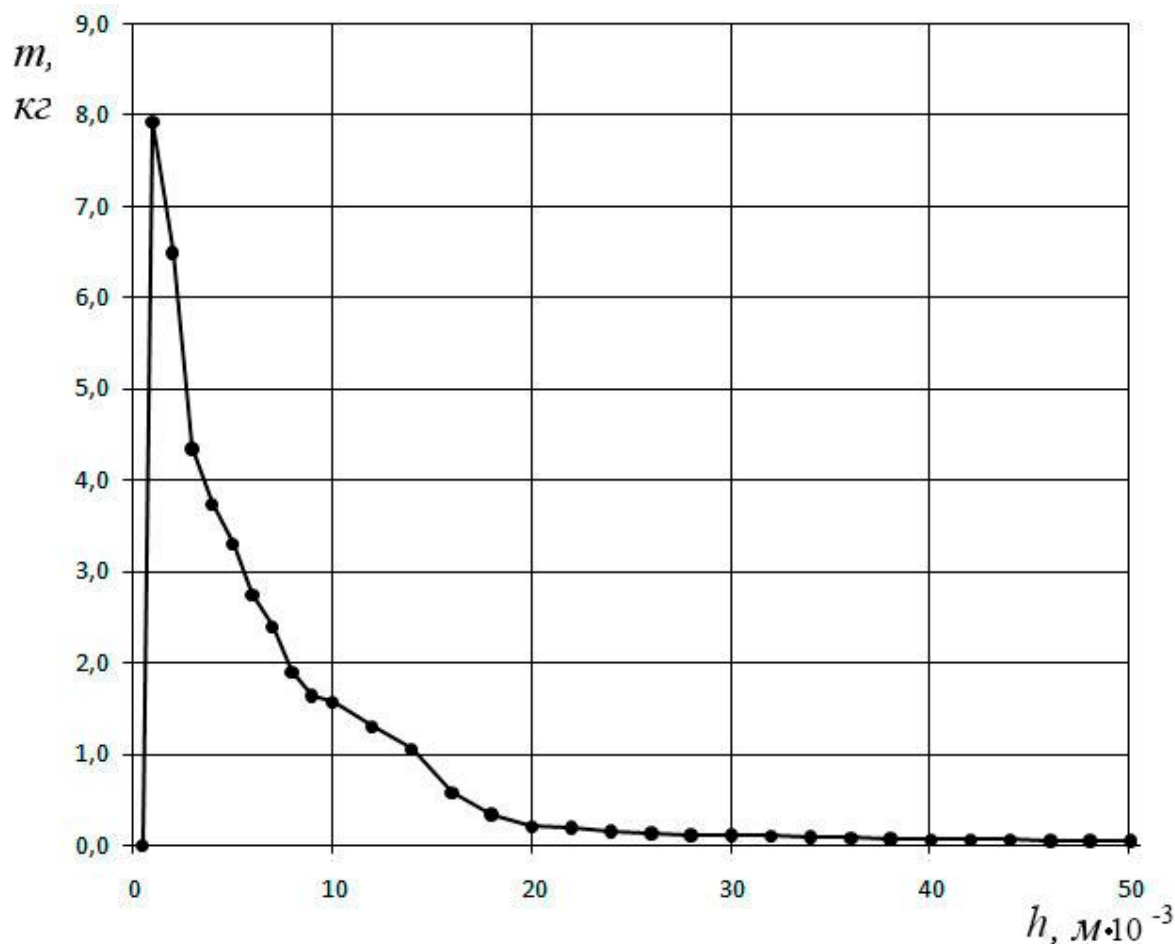


Рисунок 6. График изменения удерживающей силы F в зависимости от зазора между корпусом рабочей камеры и верхней поверхностью заготовки h .

Полученная кривая хорошо согласуется с выводами, приведёнными в главе 2.

В пятой главе рассмотрены варианты использования вакуумного захватного устройства для решения различных технологических задач.

Описаны и охарактеризованы ситуации, в которых бесконтактное удержание объекта является существенным преимуществом. Однако, в таких захватных устройствах не обеспечивается базирование в горизонтальной плоскости и по углу относительно вертикальной оси. Поэтому, как это показано в работе, необходимо введение дополнительных базирующих

элементов в конструкцию захватного устройства, либо сочетание нескольких устройств в различных пространственных конфигурациях. Для надёжного базирования необходимо добавление контактных базирующих элементов. На рисунке 7 показаны схемы с базирующими элементами, ограничивающими подвижность в горизонтальной (вариант а и б) и вертикальной (вариант в) плоскостях.

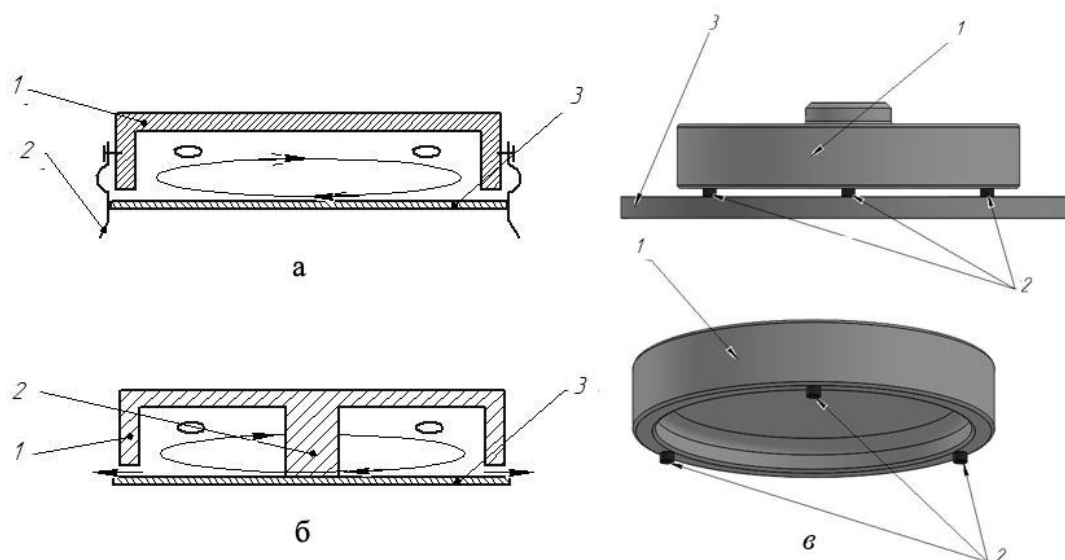


Рисунок 7. Использование фиксирующих элементов. 1 – корпус захватного устройства, 2 – фиксирующие элементы, 3 –удерживаемый объект

Кроме того, автором предложены новые варианты базирования объекта при захвате с помощью дополнительных элементов, встраиваемых в корпус захвата (рисунок 7а 2- упругие фиксирующие пластинки, рисунок 7б 2 – центральная базирующая часть корпуса).

Использование предложенных приемов и дополнительных устройств значительно расширяет возможности и области применения рассматриваемых захватных устройств.

В Заключении сформулированы основные выводы и кратко охарактеризованы результаты диссертационной работы:

Приведённые и обоснованные в работе рекомендации позволяют разрабатывать и проектировать эффективные рабочие органы робототехнических и мехатронных систем, с использованием предложенной методики.

В диссертации решены следующие задачи:

- систематизированы известные и новые задачи удержания объектов манипулирования, отличающиеся тем, что удержание происходит бесконтактно или при малом контактном взаимодействии с захватом;
- разработаны и экспериментально проверены математические модели вихревых захватных устройств, предназначенных для автоматизации технологических процессов и операций, требующих ограниченного воздействия на объект манипулирования;
- выполнен качественный и количественный анализ зависимости силы, притягивающей объект манипулирования к рабочей камере, в которой поддерживается вихревое движение газа для различных значений диаметров вихревой камеры и диаметров сопел;
- проведён анализ зависимости удерживающего усилия, создаваемого вихревым движением газа внутри камеры, от зазора между захватным устройством и объектом, позволяющий выявить значение зазора, при котором происходит удержание захватываемого объекта и оценить параметры базирующих элементов, входящих в конструкцию захватного устройства;
- обосновано построение сеточной зависимости расчетной аэродинамической модели вихревого захватного устройства, позволяющей выбирать параметры разбиения модели на конечные элементы, получены оценки точности рассчитываемых параметров от разбиения модели на конечные элементы;
- выполнен анализ пограничных слоёв и анализ вторичных течений в камере при математическом моделировании методом конечных элементов, что позволяет выявить эффективные конфигурации вихревой камеры захватных устройств роботов;
- предложена методика проектирования вихревых захватных устройств с авторскими дополнениями, опирающаяся на учет газодинамических характеристик движения сжатого газа в вихревой камере;

- дана оценка влияния пропускной способности сопел на характеристики вихревого захватного устройства;
- выполнено экспериментальное исследование образца вихревого захватного устройства, показывающее малую величину расхождения с расчётными моделями;
- даны рекомендации по расширению области использования вихревых вакуумных захватных устройств.

Результаты диссертационной работы **опубликованы**

1. В следующих изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

- Блажнов, А.А. Вихревое вакуумное бесконтактное захватное устройство. Научно-технические ведомости СПбГПУ 4(207) 2014/ А.А. Блажнов. – СПб: изд. СПбГПУ, 2014. – С 212—218.

- Челпанов И.Б., Блажнов А.А., Кочетков А.В. Бесконтактное вихревое вакуумное захватное устройство для промышленных роботов // Интернет-журнал «Науковедение» Том 7, №1 (2015)

2. В других изданиях:

- Блажнов А.А., Ключкин В.Ю. "Вихревой бесконтактный захват на основе эффекта ранка", Современное машиностроение. Наука и образование Материалы II Международной научно практической конференции 14-15 июня 2012 – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.

- Блажнов А.А. "Анализ первичных и вторичных течений газа в вихревой камере бесконтактного вакуумного захвата", Современное машиностроение. Наука и образование Материалы III Международной научно практической конференции 20-21 июня 2013 – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013.

- Блажнов А.А. "Вакуумный бесконтактный вихревой захват" Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участие. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбГПУ Ч.1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014