

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тульский государственный университет»

На правах рукописи



БОГОДЯЖ Артем Евгеньевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИСКОВОГО БУНКЕРНОГО
ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ
АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ**

Специальность: 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Пантюхина Елена Викторовна

Тула – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ	
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ	
АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ	
В ОБОРУДОВАНИЕ МАССОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	
	13
1.1 Полые по торцам стержневые, в том числе близкие к	
равноразмерным, асимметричные заготовки формы тел вращения	
и примеры технологий их получения.....	13
1.2 Средства автоматической загрузки асимметричных по торцам	
заготовок формы тел вращения	20
1.3 Исследования в области проектирования производительных	
и надежных конструкций механических дисковых бункерных	
загрузочных устройств для штучных заготовок	31
1.4 Выводы	41
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО	
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ	
ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ	
МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЛАГОПРИЯТНОГО ЗАХВАТА.....	
	44
2.1 Вероятность, учитывающая благоприятные положения заготовок	
для их захвата на дне бункера.....	45
2.2 Обоснование направлений модернизации устройства на основе	
теоретического исследования вероятности благоприятного захвата	55
2.3 Выводы	62
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО	
БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ	
ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК.....	
	64

3.1 Описание усовершенствованного устройства, принципа работы и регулировки для различных заготовок	64
3.2 Условия стабильного функционирования устройства	73
3.3 Разработка математических моделей вероятности захвата и производительности.....	83
3.4 Выводы	103
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК	106
4.1 Описание разработанного макета усовершенствованного устройства и заготовок для проведения экспериментов.....	106
4.2 Проверка работоспособности и стабильной работы устройства	115
4.3 Проверка адекватности разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности.....	125
4.3.1 Построение теоретических моделей вероятности захвата и производительности.....	125
4.3.2 Описание и результаты экспериментальных исследований производительности.....	128
4.3.3 Верификация теоретических и экспериментальных исследований	131
4.4 Выводы	134
ГЛАВА 5 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ОБОСНОВАНИЯ	
ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК.....	137
5.1 Траектория разработки эффективной конструкции устройства для полых по торцам заготовок	137
5.2 Методика проектирования модернизированного универсального устройства	141

5.3 Выводы	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	159
ПРИЛОЖЕНИЕ А ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ БЛАГОПРИЯТНОГО ЗАХВАТА ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ ЗАГОТОВОК.....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА.....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ В ПРОГРАММЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДВУХ ВИДОВ ЗАГОТОВОК ТИПА II	195
ПРИЛОЖЕНИЕ Г РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	198
ПРИЛОЖЕНИЕ Д ДОКУМЕНТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.....	199

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В условиях современных массовых производств возникают задачи повышения производительности технологического оборудования при обеспечении надежности его функционирования. Поэтому автоматическую загрузку оборудования, в том числе роторного типа, должны осуществлять высокопроизводительные и надежные системы. К такому типу устройств относятся дисковые бункерные загрузочные устройства механического типа (БЗУ), которые обеспечивая захват единичной штучной заготовки из общей их массы в бункере, приводят каждую заготовку в ориентированное положение и выдают к накопительному устройству технологического оборудования.

В течение нескольких последних десятилетий расширяется номенклатура изготавливаемых изделий и заготовок для их производства, в том числе с появлением новых, более эффективных технологий производства изделий. Например, появляются асимметричные заготовки типа тел вращения, имеющие полости на каждом или на одном из торцов, так называемые полые по торцам заготовки, с соотношением a высоты и диаметра наибольшего из торцов в диапазоне от 1,2 до 2, в том числе с неявной асимметрией и высокой сцепляемостью друг с другом. Известные ранее традиционные БЗУ не способны обеспечить стабильность при ориентировании таких заготовок, а их усовершенствованные конструкции при проведении экспериментальных исследований показали целый ряд проблем: снижение надежности и производительности, трудности в процессе переналадки, обусловленные тем, что универсальность достигалась только путем замены ориентирующих органов усовершенствованных БЗУ под каждое соотношение a .

Необходимость усовершенствования и проектирования высокотехнологичного универсального БЗУ с возможностью регулировки под размеры и расположение центра масс асимметричных заготовок с торцами разных диаметров с одной или двумя внутренними полостями по торцам с соотношением

$a = 1, 2 \dots 2$ на базе разработки и теоретического исследования математических моделей вероятности захвата и производительности предопределяет актуальность исследования.

Степень разработанности темы. Научно-практические направления работы, относящиеся к комплексной автоматизации производственных процессов, производительности, надежности и функционированию технологических систем задаются на основе трудов отечественных ученых Артоболевского И.И. [16], Артоболевского С.И. [17], Волчкевича Л.И. [47, 48], Клусова И.А. [70, 71], Кордонского Х.Б. [72], Кошкина Л.Н. [16, 73], Шаумяна Г.А. [132].

Наиболее важные научно-прикладные аспекты исследования по функционированию БЗУ, исследованию процессов захвата и ориентирования в них штучных заготовок определяются в работах отечественных ученых Белякова А.Н. [23], Бобров В.П. [24], Борисов А.А. [32, 110], Васин С.А. [37, 39], Камышный Н.И. [66], Лукин С.А. [76, 78], Малов А.Н. [84, 85], Медвидь М.В. [86], Пантюхина Е.В. [9, 36, 95, 106], Повидайло В.А. [117], Прейс В.В. [52, 53, 98, 118], Прейс В.Ф. [13], Пузиков И.В. [126, 127], а также зарубежных работ в виде обобщенных рекомендаций для выбора и проектирования БЗУ под конкретные изделия Benhabib B. [1], Boothroyd G. [2], Ghosh S., Singh S.P. [3], GrohW [4], Hesse S., Zapf H. [5], Murch L.E., Poli C. [6], Sandier B.Z. [11].

В области автоматизации загрузки штучных заготовок, в том числе сложно поддающихся автоматическому ориентированию, повышение производительности технологического оборудования при обеспечении надежности его функционирования обуславливает необходимость усовершенствования и разработки БЗУ в направлении универсальности, высокой производительности и стабильной работы на основе научно обоснованных подходов. Это приведет к улучшению основных показателей процесса и позволит при необходимости регулировать и изменять влияющие на них параметры.

Цель исследования – повышение производительности дискового БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных за-

готовок типа тел вращения путем реализации наиболее эффективного способа захвата и ориентирования и обоснования рациональных параметров рабочих органов устройства.

Для достижения цели исследования сформулированы и решены следующие основные **задачи исследования**:

1 Провести анализ возможных способов захвата и ориентирования в БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения, разработать математические модели вероятности благоприятного захвата для каждого из них и теоретически обосновать направления модернизации БЗУ.

2 Разработать для полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения усовершенствованное дисковое БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки, реализовав в нем теоретически обоснованные способы захвата и ориентирования, при которых производительность максимальна.

3 Разработать конструктивные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования усовершенствованного БЗУ, определяющие в виде диапазонов взаимосвязанных параметров заготовок и БЗУ условия его стабильного функционирования.

4 Разработать математические модели вероятности захвата полых по торцам асимметричных заготовок для описания и построения математических моделей производительности усовершенствованного БЗУ.

5 Провести экспериментальные исследования на натурном макете усовершенствованного БЗУ для нескольких видов полых по торцам асимметричных заготовок для проверки стабильного функционирования БЗУ и адекватности разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности.

6 Разработать методику проектирования и обоснования эффективной конструкции усовершенствованного БЗУ для различных типов полых по торцам асимметричных заготовок.

7 Разработать компьютерные программы для расчета и теоретического исследования вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ в зависимости от его параметров и параметров загружаемых полых по торцам асимметричных заготовок.

Объект исследования – усовершенствованное дисковое БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения с соотношением высоты и диаметра наибольшего из торцов в диапазоне от 1,2 до 2.

Предмет исследования – взаимосвязи и взаимовлияние между параметрами полых по торцам асимметричных заготовок и усовершенствованного дискового БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки, при которых будут обеспечены максимальная производительность и стабильное функционирование.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы, а именно пункту 1 (Разработка научных и методологических основ, технических и технологических требований к проектированию и созданию новых машин, агрегатов и технологических процессов) и пункту 4 (Исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций с использованием моделирования, численных и физических экспериментов).

Научная новизна заключается в:

1 Разработанных математических моделях вероятности благоприятного захвата полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения, позволяющих обосновать направления модернизации БЗУ, реализовав в нем наиболее производительный способ захвата и ориентирования.

2 Установлении взаимосвязей между параметрами заготовок и органами захвата и ориентирования усовершенствованного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки, определяющих условия стабильного функционирования БЗУ.

3 Разработанных математических моделях вероятности захвата полых по торцам асимметричных заготовок в усовершенствованном БЗУ, учитывающих влияние на процесс захвата геометрических параметров заготовок, их сцепляемости и коэффициента трения между ними во взаимосвязи с конструктивными и кинематическими параметрами БЗУ и коэффициентом трения между заготовками и элементами БЗУ.

4 Разработанных математических моделях производительности усовершенствованного БЗУ, позволяющих описать влияние на производительность конструктивных и кинематических параметров БЗУ, способа захвата и ориентирования заготовок, геометрических параметров и сцепляемости заготовок, а также значений коэффициента трения, как между заготовками и элементами БЗУ, так и между заготовками в процессе их захвата и ворошения в бункере.

Теоретическая и практическая значимость работы. В результате исследований разработаны:

1 Математические модели вероятности благоприятного захвата полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения, позволяющие обосновать направления модернизации БЗУ, реализовав в нем наиболее производительный способ захвата и ориентирования.

2 Усовершенствованное дисковое БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки.

3 Конструктивные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования, определяющие условия стабильного функционирования усовершенствованного БЗУ.

4 Математические модели вероятности захвата полых по торцам асимметричных заготовок в усовершенствованном БЗУ.

5 Математические модели производительности усовершенствованного БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок.

6 Методика проектирования и обоснования эффективной конструкции усовершенствованного БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок.

7 Компьютерные программы для расчета и теоретического исследования вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ.

Реализация результатов работы. Результаты диссертации внедрены на АО «Тульский патронный завод» и могут использоваться в различных отраслях промышленности при проектировании, производстве, эксплуатации, а также исследовании, новых дисковых БЗУ БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения с соотношением высоты и диаметра наибольшего из торцов в диапазоне от 1,2 до 2.

Методология и методы исследования в диссертации при решении поставленных задач и проведении теоретических и экспериментальных исследований процессов захвата и ориентирования полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения применяются математические, компьютерные и натурные модели, построенные на основе теории вероятностей и общих физических законах. При проведении экспериментальных исследований на экспериментальном макете модернизированного БЗУ применялась современная измерительная и контролирующая аппаратура, методы регрессионного анализа, статистические методы обработки результатов экспериментов и современные компьютерные программы.

Положения, выносимые на защиту:

- математические модели вероятности благоприятного захвата полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения позволяют обосновать направления модернизации БЗУ, реализовав наиболее производительный способ захвата и ориентирования;

- усовершенствованное дисковое БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок с реализацией теоретически обоснованных способов захвата и ориентирования, при которых производительность максимальна;
- конструктивные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования, определяющие в виде диапазонов взаимосвязанных параметров заготовок и БЗУ условия его стабильного функционирования;
- математические модели вероятности захвата полых по торцам асимметричных заготовок в усовершенствованном БЗУ;
- математические модели производительности усовершенствованного БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок;
- методика проектирования и обоснования эффективной конструкции усовершенствованного БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок;
- компьютерные программы для расчета и теоретического исследования вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ в зависимости от его параметров и параметров загружаемых полых по торцам асимметричных заготовок

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных в диссертации результатов была подтверждена сопоставлением теоретических исследований с экспериментальными, применением научно обоснованных методов исследования, методов математической статистики для обработки экспериментальных данных, полученных на натурном макете усовершенствованного устройства для полых по торцам асимметричных заготовок тел вращения. Полученные результаты согласуются с известными теоретическими разработками и экспериментальными исследованиями других авторов.

Основные положения диссертации и полученные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Национальная научно-техническая конференция с международным участием «Автоматизация: проблемы, идеи, решения АПИР-30» (г. Тула, 2025), IX Международная научно-

практическая конференция «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте» (г. Кемерово, 2025), 62-я научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием (г. Тула, 2026).

Публикации. Содержание диссертации отражено в 9 научных работах, из них 6 статей опубликовано в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 133 наименований и 5 приложений (программы для теоретического исследования вероятности благоприятного захвата полых по торцам заготовок и производительности модернизированного устройства, программы построения математических моделей вероятности захвата и производительности экспериментального макета устройства для двух видов заготовок типа II, результаты экспериментальных исследований и обработки полученных значений производительности, документ о внедрении результатов работы). Диссертация изложена на 200 страницах, содержит 69 рисунков, 7 таблиц.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ В ОБОРУДОВАНИЕ МАССОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

1.1 Полые по торцам стержневые, в том числе близкие к равноразмерным, асимметричные заготовки формы тел вращения и примеры технологий их получения

В массовых автоматизированных производствах встречается огромное разнообразие штучных асимметричных по торцам заготовок типа тел вращения (изделий, полуфабрикатов, деталей, компонентов), которые нужно автоматически подавать в оборудование автоматических линий различных типов с производительностью от 150 и более шт./мин [12, 35, 68], обеспечив их надежную работу [60]. При этом перед подачей (загрузкой) такие заготовки также автоматически должны быть из разрозненного состояния приведены в требуемое упорядоченное ориентированное положение [14, 47, 49, 51, 84].

Заготовки, которые необходимо сориентировать перед подачей в оборудование, классифицируются по многим признакам. Если обобщить известные классификации, то можно выделить следующие основные группы заготовок: по асимметрии формы, по расположению центра масс и другим признакам (явная и неявная), по количеству материалов из которых состоит заготовка (многокомпонентная и однокомпонентная), по форме торца (с коническим, сферическим или цилиндрическим торцом), по сложности наружной поверхности (простая и сложная), по форме основной части (наибольшего торца) заготовки (цилиндрический или конический торец), по переходу одного торца в другой (плавный или ступенчатый переход), по соотношению длины (высоты) и диаметра (стержневые, равноразмерные и близкие к ним, плоские), по склонности к взаимосцепляемости (взаимосцепляемые или несцепляющиеся) [2, 13, 29, 68, 86].

Наиболее важной с точки зрения автоматической загрузки является классификация по соотношению длины (высоты) и диаметра. На рисунке 1.1 представлены стержневые (рисунок 1.1, а), равноразмерные и близкие к ним (рисунок 1.1, б) и плоские (рисунок 1.1, в) заготовки. При этом рассматриваемые заготовки характеризуются следующим соотношением длины l (высоты h) и наибольшего диаметра d_2 : стержневые – $l / d_2 > 1,5$, равноразмерные и близкие к ним – $0,5 \leq h / d_2 \leq 1,5$ и плоские – $h / d_2 < 0,5$.

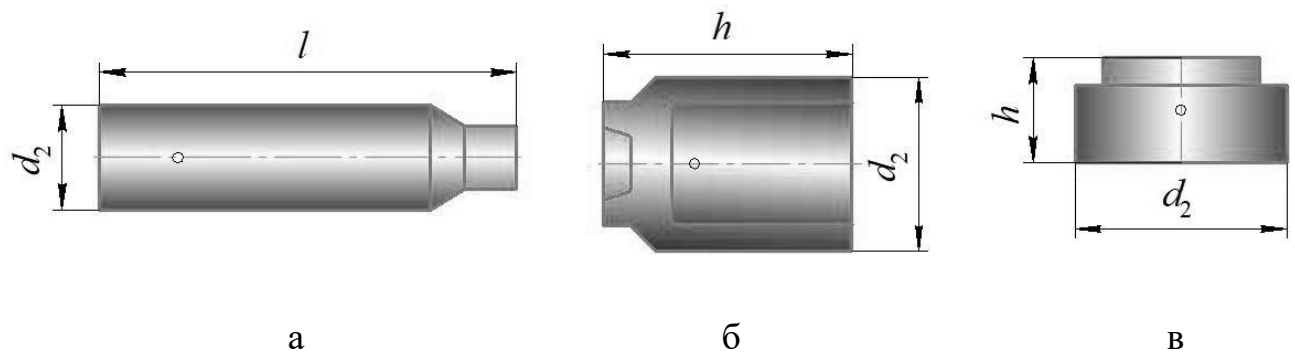


Рисунок 1.1 – Классификация заготовок формы тел вращения по соотношению длины (высоты) и диаметра наибольшего торца:
а – стержневые; б – равноразмерные и близкие к ним; в – плоские

Большую долю среди всех штучных заготовок формы тел вращения составляют ступенчатые асимметричные заготовки (рисунок 1.2), имеющие внутренние полости с одной или двух сторон, у которых соотношение высоты к наибольшему диаметру h / d_2 составляет от 1,2 до 2 [25, 57]. При этом заготовки, у которых h / d_2 находится в диапазоне от 1,2 до 1,5, являются близкими к равноразмерным, а заготовки, у которых h / d_2 находится в диапазоне от 1,5 до 2, являются стержневыми.

Они могут быть с двумя внутренними полостями (рисунок 1.2, а) или с одной (рисунок 1.2, б, в, г), иметь плавный (рисунок 1.2, а, б, г) или ступенчатый (рисунок 1.2, в) переход от одного торца к другому, быть не сцепляемыми (рисунок 1.2, а), так как диаметр наименьшего торца равен или меньше диамет-

ра наибольшего торца, или быть взаимосцепляемыми (рисунок 1.2, б, в, г), так как при ворошении наименьший торец может сцепляться с наибольшим за счет проникновения внутрь. Для рассматриваемых заготовок характерно смещение центра масс (как явное так и не совсем явное) и явная асимметрия формы.

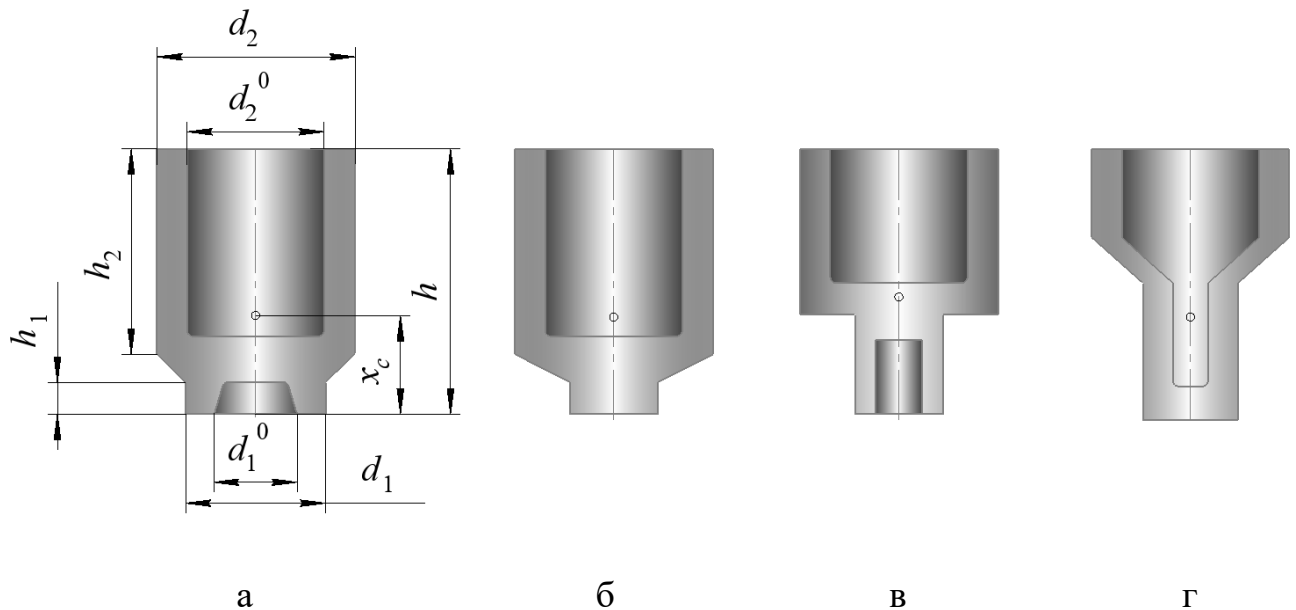


Рисунок 1.2 – Некоторые виды асимметричных ступенчатых заготовок, у которых высота в 1,2-2 раза превышает диаметр, с полостями:

а – по каждому из торцов, переход между торцами конический; б – по одному из торцов, переход между торцами конический; в – по одному из торцов, переход между торцами отсутствует; г – по одному из торцов, переход между торцами конический, полость ступенчатая с коническим переходом

Автоматизация технологических процессов массовых производств во многих отраслях промышленности направлена на создание высокоэффективных производств, в которых производственные мощности реализовываются самым рациональным способом, поскольку может возникнуть необходимость преобразования и подготовки производства к изготовлению изделий иных типов [46, 51, 87, 131]. Для подобных производств наибольшая эффективность достигается при следующих условиях: производственный цикл должен быть замкнут и автоматизирован и непрерывен; должны быть разработаны кратчай-

шие маршруты потоков для основных и дополнительных материалов, вспомогательные подразделения, не допускающие производственных временных затрат, транспортные устройства и автоматические механизмы подачи основных и дополнительных материалов; должно производиться регулярное развитие, как оборудования автоматизированного производства, так и процессов, связанных с ним; должна быть разработана вспомогательная система обслуживания за оборудованием на основе бригадного подхода; должен быть разработан алгоритм преобразования и подготовки производства к изготовлению изделий иных типов; должна быть разработана структура организации производства, систем управления, особого оборудования, оснастки, нормативов; должно быть организовано производство оборудования технических средств на предприятиях под области и структуры объединения между ними.

Например, в патронном производстве изготовление гильз патронов до получения их полуфабриката с запальными отверстиями традиционно реализуется в последовательном выполнении нескольких этапов (рисунок 1.3).

В качестве первого этапа производится вырубка рондоли из рулона с дальнейшей химической и термической обработкой на участке, включающем процедуры обезжиривания, отжига, травления и фосфатирования. На втором этапе рондоль загружается с помощью системы автоматической загрузки, которая ориентирует рондоль, выгружающуюся в ориентированном положении в оборудование технологической машины. После выгрузки производятся вытяжки I и II, после чего осуществляется химическая и термическая обработка полуфабриката вытяжки II, который впоследствии таким же образом системой автоматической загрузки загружается на участок итоговой вытяжки, на котором производятся вытяжки III и IV и обрезка полуфабриката. На третьем этапе сначала осуществляется химическая и термическая обработка полуфабриката, если возникает необходимость, а впоследствии полуфабрикат, который был получен при вытяжке IV, системой автоматической загрузки подается на участок штамповки дна [75].

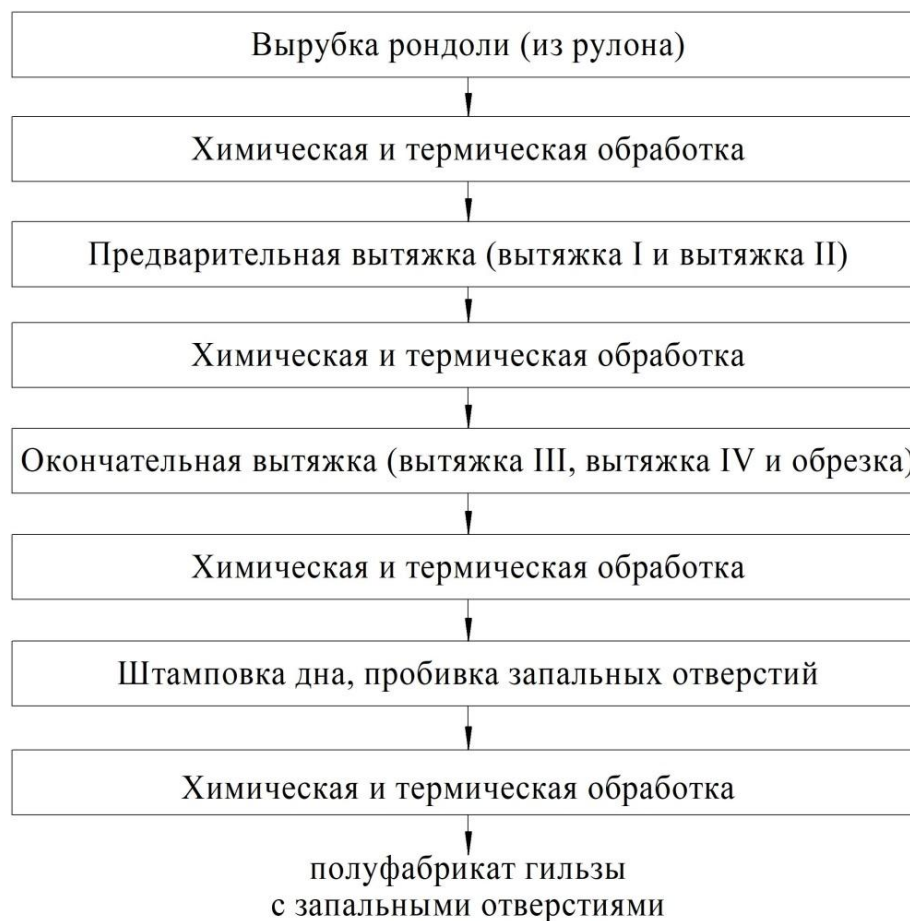


Рисунок 1.3 – Технологические этапы традиционного изготовления полуфабриката гильз спортивно-охотничьих патронов

Далее осуществляется химическая и термическая обработка полуфабрикатов с запальными отверстиями. Впоследствии система автоматической загрузки подает полуфабрикаты на процесс обжима дульца.

Обычно реализовываются такие способы производства гильз: из плоской заготовки (кружка) – методом комбинированного типа вытяжки колпака и дальнейших вытяжек с утонением с переходными термохимическими процессами; из кружка – комбинированной вытяжкой колпака с внедрением операции конической осадки дна колпака или осадки дна полуфабрикатов предпоследней вытяжки после отжига; из плоской профильной заготовки или из заранее вытянутого колпака прямым холодным выдавливанием полуфабриката; из цилиндрической заготовки, получаемой отрубкой от калиброванного и шлифованного по наружной поверхности прутка обратным или комбинированным холодным

выдавливанием полуфабриката; из профильной объемной заготовки, получаемой из прутка горячей поперечно-винтовой прокаткой обратным холодным выдавливанием полуфабриката; из кружка – с последующей его подштамповкой и вытяжками с утонением с промежуточными термохимическими операциями; из цилиндрической заготовки, достигаемая путем отрубki от калиброванного прутка полугорячим комбинированным выдавливанием полуфабриката; опытные технологические операции из цилиндрической заготовки, достигаемая путем отрубki от литой штанги горячим обратным выдавливанием колпака или из заготовки, достигаемой путем отрубki от калиброванного прутка с последующей полугорячей осадкой в рондоль и прямым выдавливанием полуфабриката.

Указанные технологии не отвечают современным требованиям производства ввиду большого потребления материала при раскросе полосы, избыточных нагрузок рабочего оборудования, продолжительности технологического цикла, нехватки поддержания нужных механических свойств изделий, так как современное развитие их изготовления гильз в массовых производствах направлено на улучшение качества механических свойств и уменьшение себестоимости гильз ввиду понижения расходов на их производство, что приводит к потребности ввода иных технологий производства новых по форме заготовок, позволяющих улучшить эксплуатационные характеристики гильз, например путем полугорячего выдавливания с раздачей [82, 83, 89, 90].

Изготовление асимметричной полой по торцам заготовки осуществляется из стального прутка, который нарезается на отдельные цилиндрические заготовки, сначала подвергают химической и термической обработке, а затем на прессе с помощью верхнего и нижнего пуансонов осуществляют полугорячее выдавливание с раздачей (рисунок 1.4) [88].

Готовое изделие в дальнейшем должно подаваться в требуемом ориентированном положении на рабочие позиции технологического оборудования роторного типа (например, для дальнейшей вытяжки, сборки, упаковки) с помощью специальных систем автоматической загрузки [70, 71, 88, 119, 129, 133].

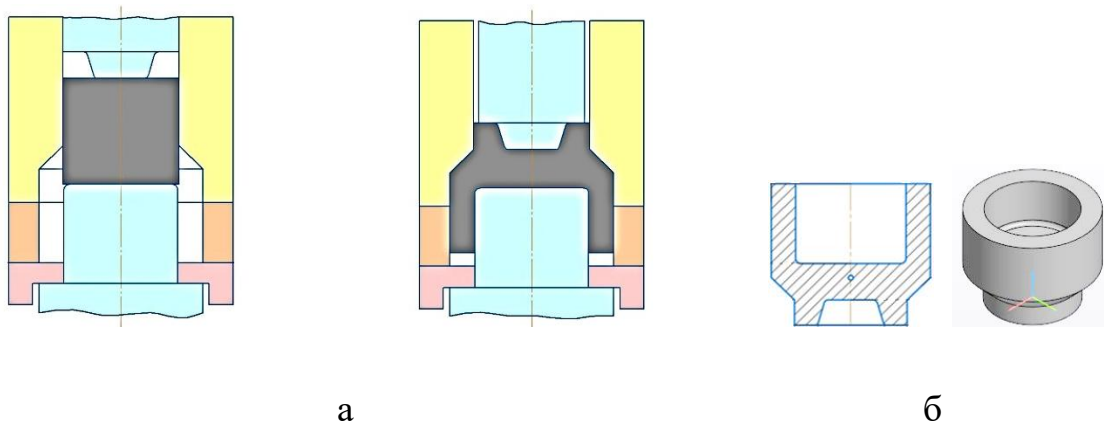


Рисунок 1.4 – Этапы двухстороннего полугорячего выдавливания (а) и готовая асимметричная полая с двух сторон заготовка (б)

Так была предложена при изготовлении полуфабриката гильзы технология, состоящая из разделки прутка на мерные заготовки, их обработки, полугорячего выдавливания с раздачей, вытяжки с утонением стенки, обрезки, штамповки дна, пробивки запальных отверстий, обжима дульца, обточки фланца, подрезки дульца. Технологический процесс изготовления полуфабриката стальной гильзы на базе операции полугорячего выдавливания с раздачей и его этапы приведены на рисунке 1.5 [88].

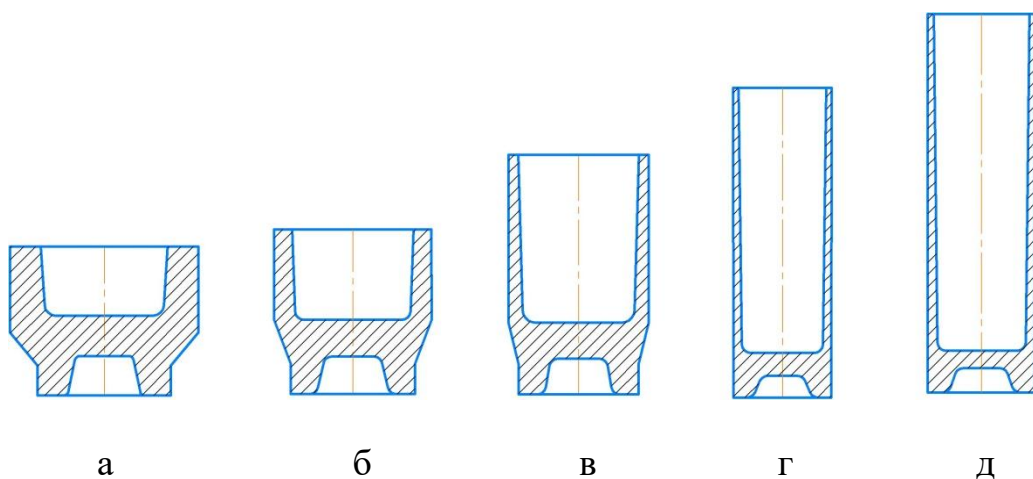


Рисунок 1.5 – Этапы технологического процесса, визуализирующие изменения формы изготавливаемого полуфабриката гильзы, с использованием в его основе операции двухстороннего полугорячего выдавливания с раздачей (а), вытяжки 1 (б), 2(в) и 3 (г), обрезка полуфабриката после вытяжек (д)

Таким образом, асимметричные ступенчатые заготовки формы тел вращения, имеющие полости на каждом или на одном из торцов, часто встречаются в массовых производствах, что обуславливает необходимость разработки систем их автоматической подачи в ориентированном положении к оборудованию технологических линий. Данные системы должны быть надежны и обладать требуемой производительностью с возможностью ее повышения.

1.2 Средства автоматической загрузки асимметричных по торцам заготовок формы тел вращения

Штучные асимметричные заготовки различных форм в массовых производствах очень часто подаются в оборудование системами автоматической загрузки, основным функциональным устройством которых является бункерное загрузочно-ориентирующее устройство (БЗУ) с механическим приводом движения рабочего органа – вращающегося диска с равномерно расположенными по его периферии карманами – органами захвата (или в том числе, для некоторых типов БЗУ, и ориентирования) (рисунок 1.6) [2, 13, 49, 64, 65, 67, 86, 130].

Система загрузки штучных заготовок в технологическое оборудование состоит из следующих устройств:

- бункерного загрузочного 1 для ориентирования, включающего захватывающий (1.1), ориентирующий (1.2), бункерный (1.3) и управляющий (1.4) механизмы, органы для захвата (1.5), привод (1.6) и блок управления (1.7),
- транспортного 2 для подачи заготовок в БЗУ,
- накопительного 3 для обеспечения запаса заготовок из-за вероятностного принципа работы БЗУ,
- выдающего 4 для синхронной подачи заготовок к рабочим органам оборудования,
- механического привода рабочего движения вращающегося диска (М),

- датчиков контроля уровня засыпки заготовок в бункере бункерного механизма, обеспечивающего необходимый запас заготовок (S1) и переполнения (или опорожнения) накопительного устройства изделиями (S2) [96].

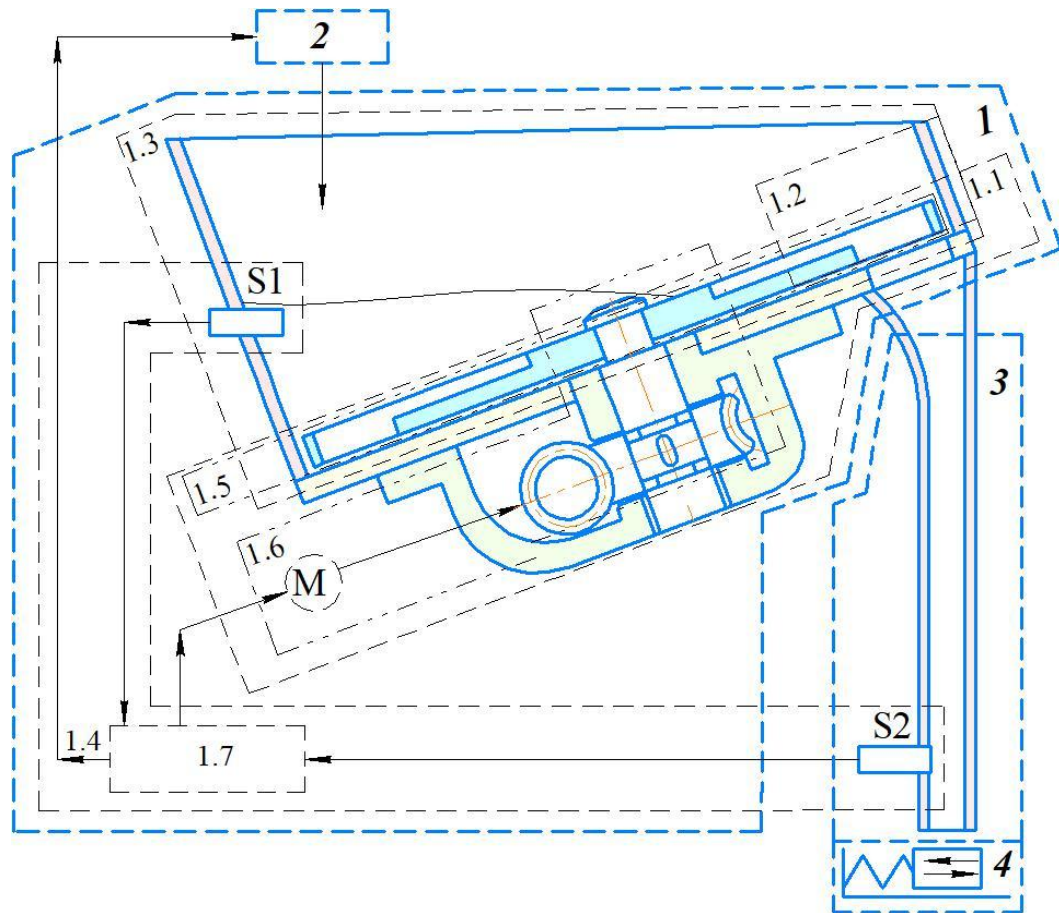


Рисунок 1.6 – Система автоматической загрузки штучных асимметричных заготовок с бункерным загрузочно-ориентирующим устройством с механическим приводом движения рабочего органа – вращающегося диска с равномерно расположенными по его периферии карманами

Рассмотрим некоторые конструкции известных механических дисковых БЗУ для похожих по форме асимметричных по торцам заготовок с полостями по каждому или одному из торцов (колпачки) [13, 33, 84, 85, 121].

В БЗУ с выступами по задней стенке барабана (рисунок 1.7, а) и по окружности диска (рисунок 1.7, б) могут ориентироваться заготовки, имеющие внутреннюю полость только на одном из торцов (так называемые заготовки в

форме колпачка). Выдача в приемник осуществляется только тех заготовок, которые направлены к крючкам торцом, имеющим внутреннюю полость. Однако, при наличии у заготовки двух внутренних полостей, на выступ могут успешно заходить заготовки обоими торцами, что приведет к снижению надежности и стабильности в работе БЗУ указанных типов.

Ориентирование заготовок может осуществляться различными конструкциями крючков, расположенных в БЗУ (рисунок 1.8). Крючки выполняют роль, как органов захвата, так и ориентирования, и могут располагаться в несколько рядов или в один ряд. Захват и, следовательно, ориентирование заготовок осуществляется только тем торцом, у которого имеется внутренняя полость. При наличии у заготовки двух полостей у каждого из торцов процессы захвата и ориентирования нарушаются, так как в данных БЗУ с крючками заготовки могут частично или полностью захватываться любым торцом.

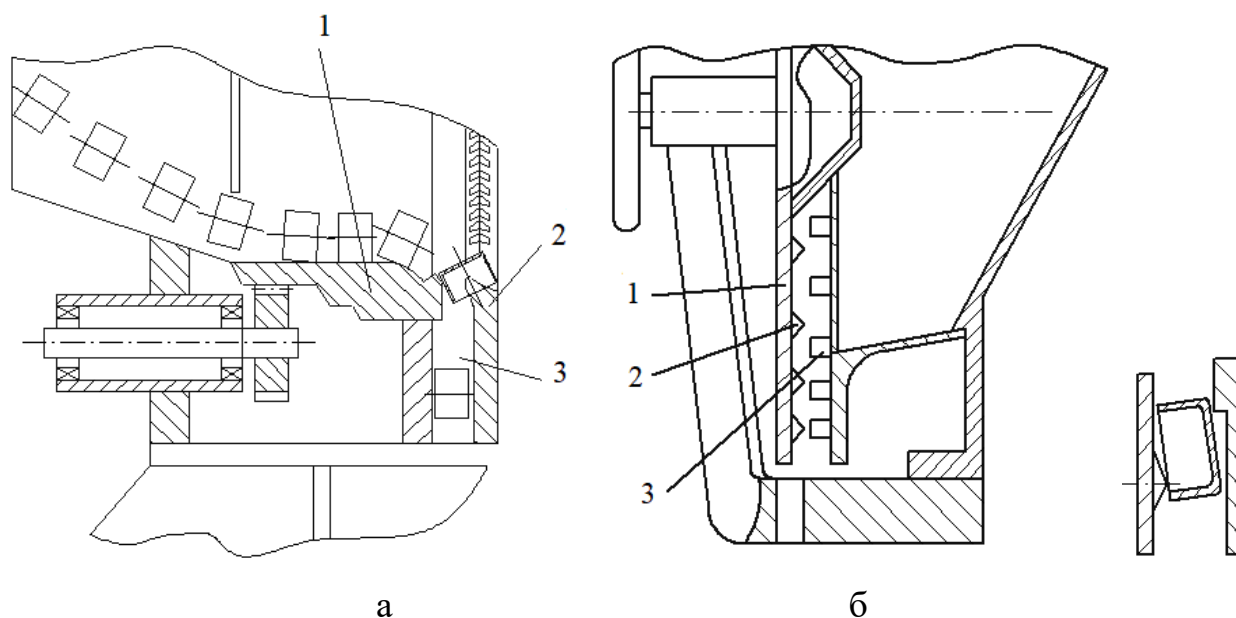


Рисунок 1.7 – БЗУ с ориентированием заготовок на выступах:

а – по задней стенке барабана: 1 – барабан; 2 – диск; 3 – полость;

б – по окружности диска: 1 – диск; 2 – конусообразные выступы;

3 – шпильки

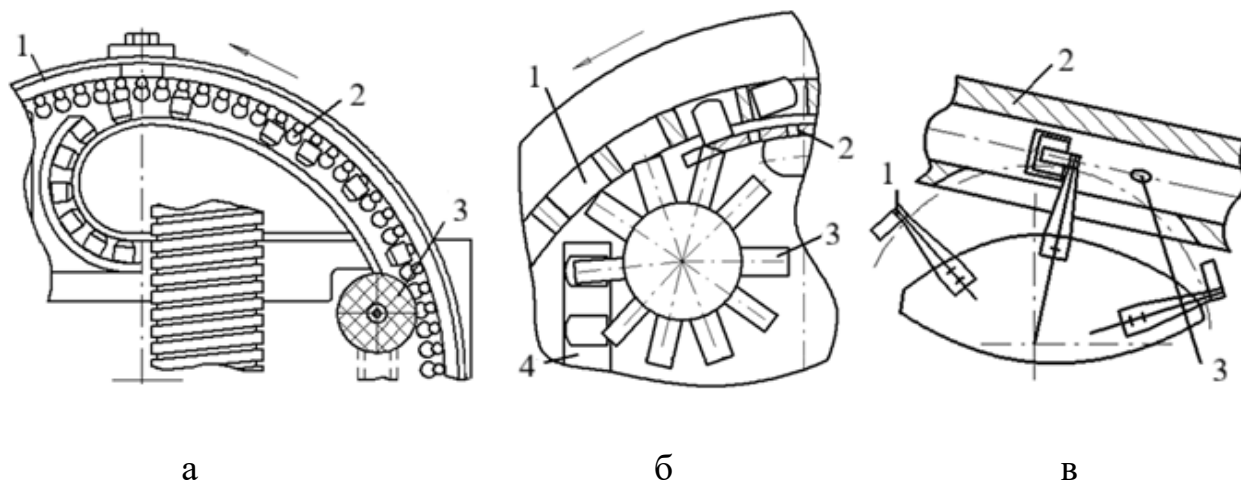


Рисунок 1.8 – БЗУ с ориентированием заготовок крючками:

- а – по поверхности барабана: 1 – барабан; 2 – крючки; 3 – щетка;
 б – с карманами: 1 – вращающееся кольцо; 2 – планка; 3 – крючки;
 4 – приемный лоток; в – с соплами для воздуха: 1 – крючки; 2 – лоток; 3 – сопла

Карманчиковые дисковые БЗУ для аналогичных по форме и размерам заготовок представлены на рисунках 1.9 и 1.10.

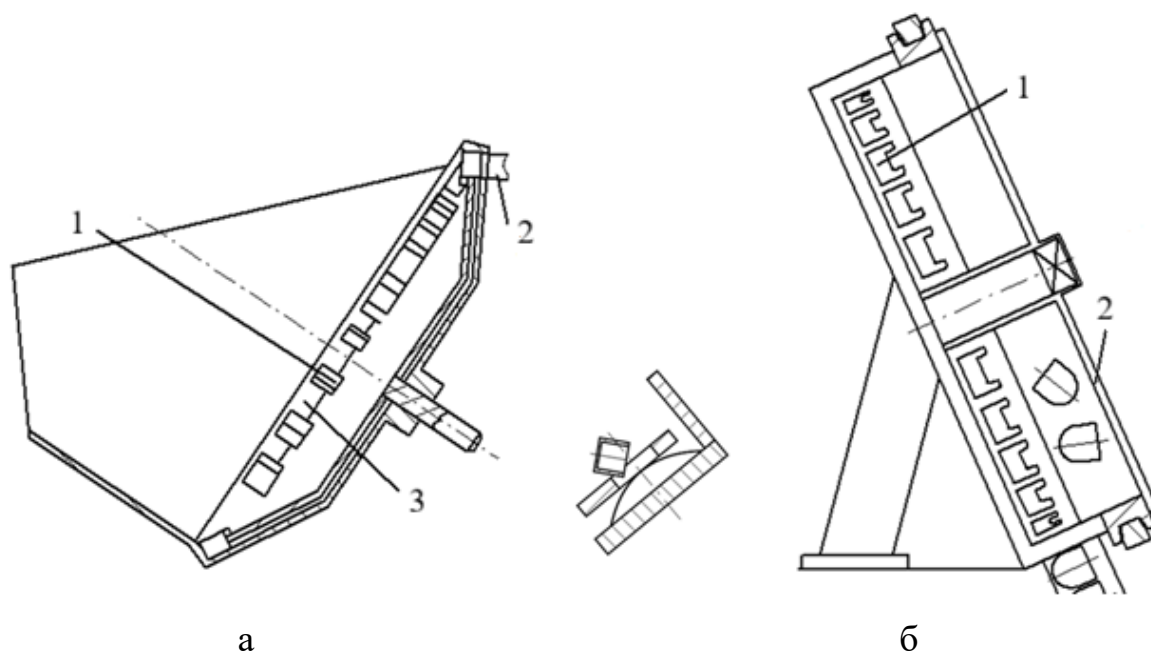


Рисунок 1.9 – БЗУ с ориентированием заготовок наклонным диском

- с карманами: а – зубчатое: 1 – вырезы; 2 – зубцы; 3 – лоток;
 б – щелевое: 1 – фигурное окно по форме заготовки; 2 – диск

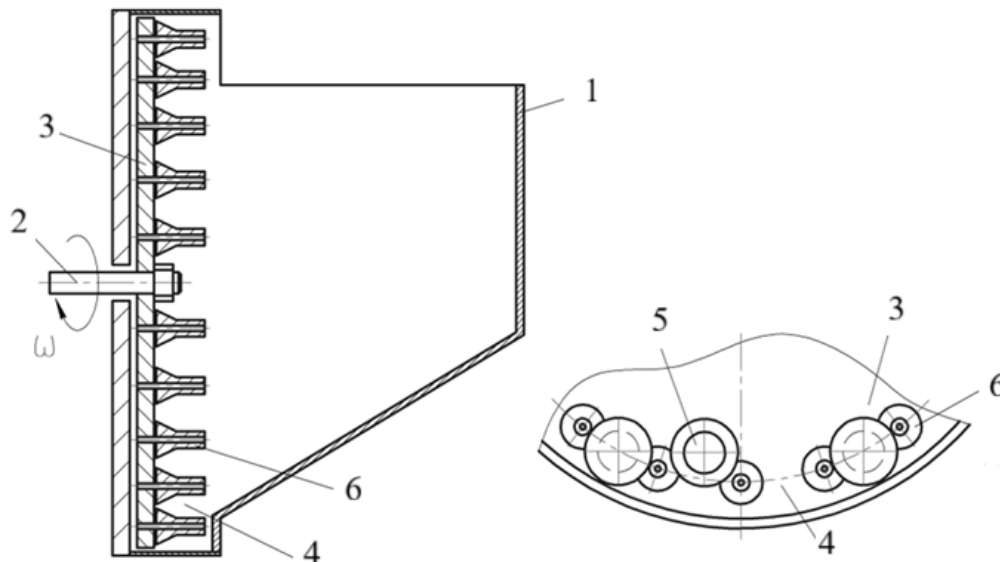


Рисунок 1.10 – БЗУ с ориентированием заготовок вертикальным диском с карманами, образованными профильными роликами: 1 – бункер; 2 – привод; 3 – диск; 4 – карман; 5 – заготовка; 6 – ролики

В основе их работы заложен принцип пассивного ориентирования заготовок, основанный на явном смещении центра масс. Захват заготовок осуществляется в нижней части бункера, а ориентирование – в верхней. Диск БЗУ может быть наклонен под некоторым углом для повышения вероятности захвата заготовок (рисунок 1.9) или располагаться вертикально, имея горизонтальную ось вращения (рисунок 1.10).

В отличие от БЗУ, представленных на рисунках 1.7, 1.8, 1.9, БЗУ с ориентированием заготовок вертикальным диском с образованными профильными роликами карманами (см. рисунок 1.10), является универсальным. При изменении формы заготовки по внешнему контуру (когда не меняется общая высота заготовки) происходит замена профильных роликов.

Заготовки типа колпачков могут также ориентироваться и за пределами БЗУ – в приемнике с помощью сфер, зубьев и впадин, на которые заготовки ложатся торцом, имеющим внутреннюю полость, и, тем самым, ориентируются в требуемое положение и выдаются из БЗУ.

В работе [57] рассмотрены и проанализированы проблемы автоматической загрузки равноразмерных заготовок тел вращения с двумя полостями в рассмотренных выше БЗУ. Было выявлено следующее.

В БЗУ с профильными карманами, в том числе в БЗУ с профильными роликами, при наличии у заготовки не существенно отличающихся по размерам диаметров торцов в карман практически полностью западают заготовки, как в правильном, так и неправильном положениях, нарушая процесс ориентирования заготовок.

В крючковом БЗУ рассматриваемые заготовки, характеризующиеся наличием внутренних полостей на каждом из торцов, будут захватываться не только в одном требуемом положении, но и в другом, то есть будут неправильно сориентированы.

Применение БЗУ с пневмоориентированием, в котором рабочий орган диск имеет отверстия, для притягивания заготовок, также становится не возможным из-за наличия у заготовки двух внутренних полостей на каждом торце, так как воздух из сопел будет с равной вероятностью выдавать каждую из запавших в отверстие заготовок.

Таким образом, известные в прошлом веке конструкции механических БЗУ не способны обеспечить стабильность при ориентировании асимметричных заготовок с внутренними полостями, что требует модернизации существующих или разработки новых конструкций БЗУ, которые не только смогут обеспечивать захват и ориентирование таких заготовок, но и будут универсальными, то есть способными переналаживаться под разные типоразмеры заготовок, что позволит обеспечить высокую эффективность [34, 69, 105].

Для автоматизации процесса загрузки заготовок, высота которых не более чем в 1,5 раза превышает их наибольший диаметр, имеющих ярко выраженную асимметрию по торцам, было предложено БЗУ с наклонным диском, радиально расположенными органами захвата (рисунок 1.11). Данное усовершенствованное БЗУ было разработано для обеспечения надежности при загрузке асимметричных полых по торцам заготовок.

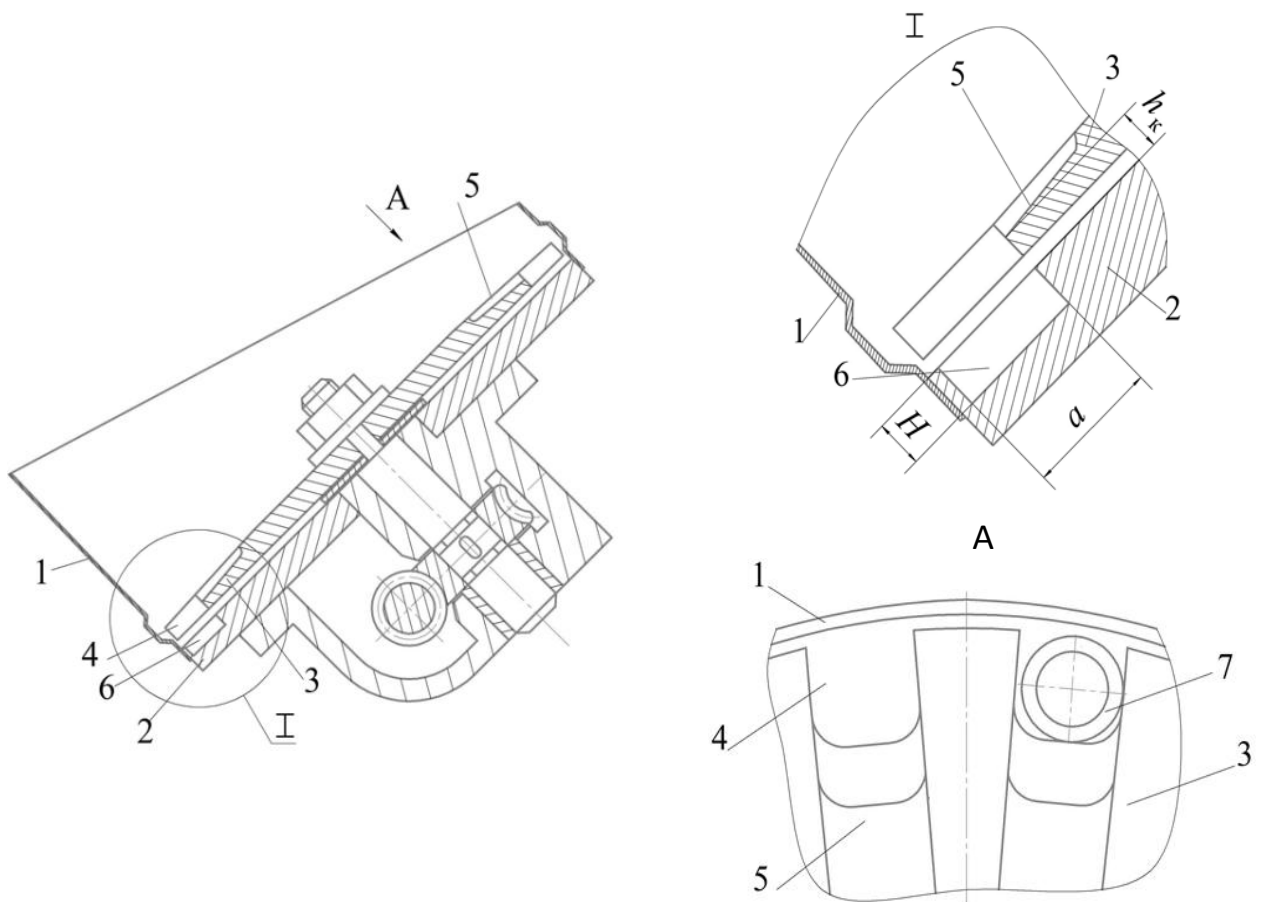


Рисунок 1.11 – Усовершенствованное БЗУ с наклонным диском, радиальными органами захвата и кольцевым пазом по окружности основания:

1 – обечайка; 2 – основание; 3 – диск; 4 – карман; 5 – радиальный паз;
6 – кольцевой паз; 7 – заготовка

На периферии основания, по окружности, выполнен кольцевой паз. Ширина a кольцевого паза соответствует длине карманов вращающегося диска, а глубина H – плавно изменяется от максимальной величины в нижней части бункера, не превышающей половины высоты заготовки, до нулевой величины в верхней части бункера [115].

Из-за существенного сужения технических возможностей БЗУ, обусловленного трудностью наладки под конкретный типоразмер заготовок, было предложено усовершенствование БЗУ, представленного на рисунке 1.11.

Данная задача решается тем, что в кольцевом пазе в верхней части бункера устанавливается криволинейный копир, ширина которого равна ширине кольцевого паза, а высота плавно изменяется в направлении перемещения заготовок от нулевой величины до максимальной величины, превышающей глубину кольцевого паза на 10-20 % [116].

Модернизированное БЗУ с криволинейным копиром и возможностью переналадки показано на рисунке 1.12.

Наладка усовершенствованного БЗУ с криволинейным копиром производится путем подбора максимальной его высоты так, чтобы обеспечивалось надежное удержание в радиальных пазах правильно запавших в карман заготовок и надежное выпадение из них обратно в бункер запавших не тем торцом заготовок, и его дальнейшей заменой в зависимости от размеров заготовок и расположения их центра масс.

В работах [59, 61] представлены разработанные конструктивные ограничения на захватывающие и ориентирующий органы усовершенствованного БЗУ с криволинейным копиром и предложены оптимальные размеры карманов и криволинейного копира для различных по размерам асимметричных деталей формы тел вращения, близких к равноразмерным, с отношением $0,9 \leq h / d_2 \leq 1,5$.

Однако при создании опытного образца данной конструкции возник целый ряд проблем, обусловленный следующим.

Во-первых, при длительной эксплуатации возникало истирание копира, что приводило к тому, что БЗУ переставало надежно функционировать и требовалось изготовление и замена копира. Это приводило к материальным и временным затратам.

Во-вторых, при заходе заготовок на копир в зоне ориентирования, происходило их заклинивание, что требовало остановки БЗУ и приводило к потере производительности.

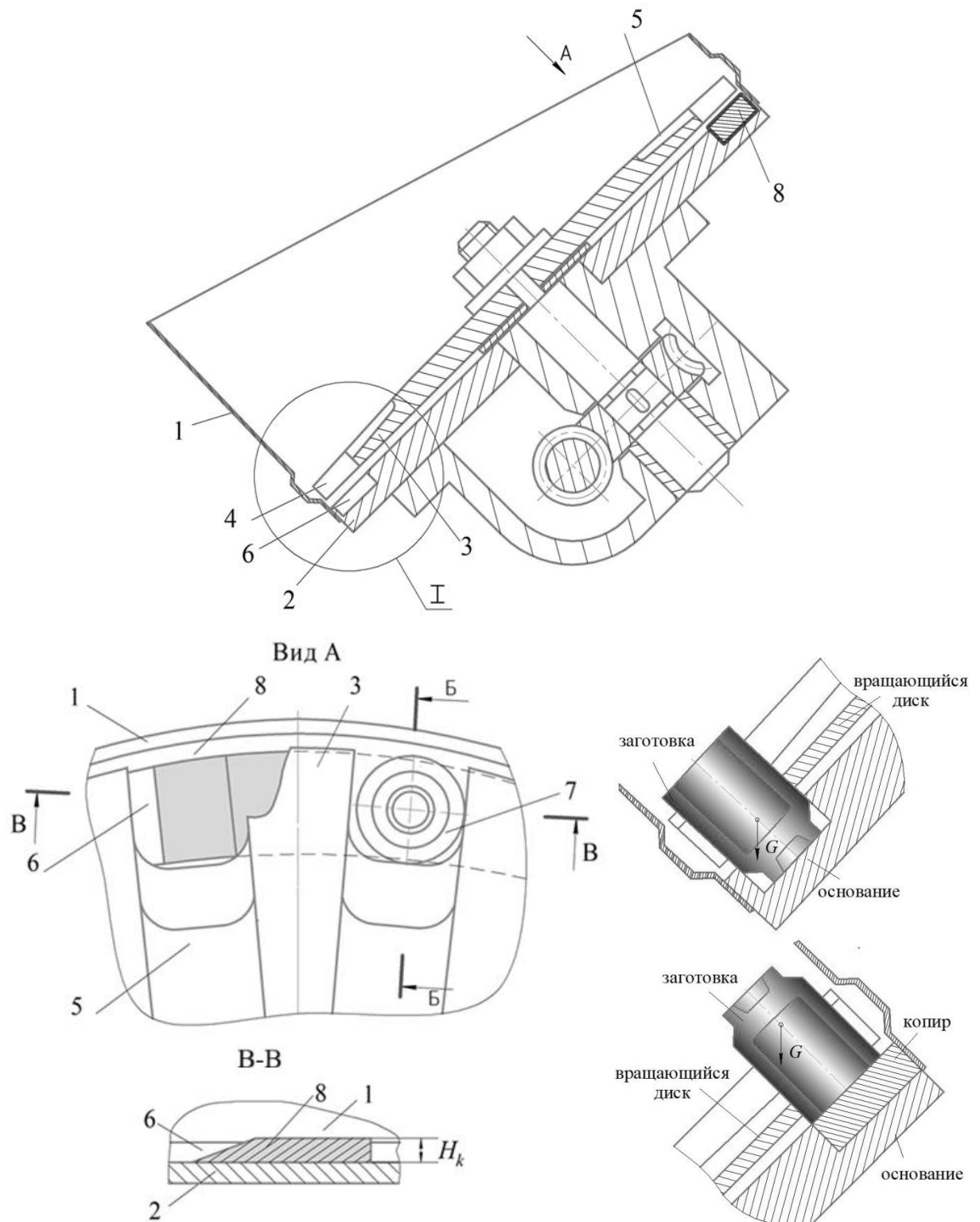


Рисунок 1.12 – Усовершенствованное переналаживаемое БЗУ
с наклонным диском, радиальными органами захвата,
кольцевым пазом по окружности основания и криволинейным копиром:
1 – обечайка; 2 – основание; 3 – диск; 4 – карман; 5 – радиальный паз;
6 – кольцевой паз; 7 – заготовка; 8 – криволинейный копир

В-третьих, высота подъема копира была ограничена нижней частью вращающегося диска, которая не позволяла устанавливать копир, высота которого превышает толщину зазора между диском и основанием.

В четвертых, заготовки, у которых $0,9 \leq h / d_2 \leq 1,1$, в большинстве случаев при захвате могли располагаться в кармане в положении не стоя, а лежа, что нарушало процесс ориентирования и снижало надежность БЗУ. Кроме этого, для каждой новой заготовки изготовление нового криволинейного копира, в том числе и по его износу, требует много времени и материальных затрат, что снижает производительность технологического процесса [104].

Поэтому до сих пор нет надежно и стабильно функционирующих систем автоматической загрузки, способных подавать рассматриваемые выше заготовки с соотношением высоты h к наибольшему диаметру d_2 в диапазоне от 1,2 до 2 в необходимом ориентированном положении и с требуемой производительностью в технологическое оборудование, в том числе роторного типа. Это обуславливает необходимость проектирования высокотехнологичного универсального БЗУ с возможностью регулировки под размеры и расположение центра масс различных асимметричных заготовок с торцами разных диаметров, имеющих внутренние полости и являющихся сложными для автоматического ориентирования [25, 120].

В последнее несколько десятилетий активно совершенствуются традиционные БЗУ для различных типов асимметричных заготовок. Основные задачи, которые реализуют усовершенствованные БЗУ – повышение производительности, надежности функционирования, расширение технических возможностей, в том числе за счет универсальности [38]. Как показал анализ усовершенствованных БЗУ, все они разрабатываются или для стержневых заготовок, у которых длина в 2,5 и более раз превышает диаметр, или для плоских заготовок. При этом для стержневых заготовок разрабатываются карманчиковые БЗУ с расположенным под углом 45 градусов вращающимся диском, а для плоских – с вертикально расположенным вращающимся диском [80, 97, 128].

Усовершенствованные БЗУ для заготовок, высота которых составляет от 0,9 до 1,5 диаметра при эксплуатации показали такие проблемы, как расположение заготовок в кармане в положении лежа, а не стоя; истирание копира при эксплуатации с возникающими из-за этого потребностями повторного его изготовления. Все это снижало надежность, технологичность, производительность. Чтобы данные БЗУ нормально функционировали, а оптимальная ширина кармана для захвата составляла от 1,1 до 1,25 диаметра заготовки, то в таких БЗУ возможно загружать только заготовки, у которых длина в 1,3 раза больше диаметра. В то же время для заготовок, высота которых составляет от 0,9 до 1,3 диаметра должны быть разработаны такие органы захвата, которые будут способны, например благодаря своей профильности с минимальными зазорами, обеспечить надежное функционирование БЗУ.

Всё вышеперечисленное обуславливает необходимость разработки стабильно функционирующего БЗУ для асимметричных заготовок, у которых высота в 1,2-2 раза превышает наибольший наружный диаметр. Его проектирование должно учитывать современные тенденции в данной области, согласно которым разрабатываемое БЗУ должно быть производительным, надежным и универсальным.

Для рассматриваемых заготовок характерно смещение центра масс и явная асимметрия формы. Поэтому для них могут быть использованы БЗУ, функционирование которых построено на выявлении этих признаков заготовки.

Пассивные способы ориентирования, реализуемые в усовершенствованных БЗУ при ориентировании заготовок, хоть и надежны, но отличаются невысокой производительностью. Они характерны для зубчатых БЗУ, для некоторых БЗУ с радиальными прямоугольными карманами, для тангенциальных БЗУ с близким к вертикальному расположению вращающимся диском.

Активные способы ориентирования более производительны, о чем свидетельствуют многочисленные теоретические исследования [18, 19, 22, 43, 62, 113, 122, 124]. Они реализуются в БЗУ с радиальными профильными карманами, наклонным диском и тангенциальными карманами, усовершенствованном

БЗУ с радиальными карманами, кольцевым ориентатором и копиром и других устройствах, в том числе и в их приемнике [13, 123].

При разработке универсального БЗУ для таких заготовок необходимо определить диапазоны конструктивных параметров и обеспечить оптимальное расположение органов захвата и ориентирования, подобрать их форму и кинематические параметры, что позволит достичь требуемых и высоких результатов при проектировании и эксплуатации.

Определение рабочих диапазонов геометрических параметров органов захвата и ориентирования будет исключать заклинивания заготовок и их неправильную ориентацию, которые приводят к снижению производительности БЗУ и нарушению стабильности процессов захвата, ориентирования и выдачи. Универсальность БЗУ кроме возможности загрузки нескольких отличающихся по форме и размерам заготовок будет способствовать быстрому реагированию на износ рабочих поверхностей органов захвата и ориентирования путем регулировки их размеров.

1.3 Исследования в области проектирования производительных и надежных конструкций механических дисковых бункерных загрузочных устройств для штучных заготовок

Проектирование усовершенствованных БЗУ механического типа для асимметричных полых по торцам заготовок формы тел вращения, обладающих высокой производительностью, надежным функционированием, возможностями переналадки под различные типоразмеры заготовок, должно обеспечиваться по следующим направлениям.

1. При усовершенствовании в дисковом карманчиковом БЗУ должен обеспечиваться захват заготовок с наибольшей вероятностью, что позволит получить высокие значения производительности БЗУ. Чтобы выявить параметры БЗУ, при которых будет обеспечена его максимальная производительность,

необходима разработка математических моделей вероятности захвата заготовок и производительности БЗУ. Математические модели позволят не только обосновать наиболее благоприятный способ захвата и ориентирования в усовершенствованном БЗУ, обеспечив тем самым его наиболее высокую эффективность, но и определить параметры БЗУ, при которых будут обеспечены требуемые значения производительности.

Фактическая производительность БЗУ $\Pi_{\text{ф}}$ определяется произведением теоретической производительности $\Pi_{\text{т}}$, зависящей от окружной скорости v захватывающих органов (карманов) и их шага t , и вероятности захвата η , характеризующей условия обеспечения захвата заготовки:

$$\Pi_{\text{ф}} = \Pi_{\text{т}} \eta = \frac{60v}{t} \eta \text{ (шт./мин)}.$$

Рассмотрим наиболее значимые для науки и практики исследования в области математического моделирования вероятности захвата и описания производительности при проектировании механических дисковых БЗУ для штучных заготовок, проведенные в нашей стране и за рубежом [20, 28, 54, 79, 108].

Первым советским ученым, работы которого были направлены на теоретические и экспериментальные исследования механических БЗУ для патронов и их элементов и начали проводиться с послевоенных лет, был профессор, доктор технических наук В.Ф. Прейс. Он создал научные основы расчета, проектирования и исследования механических БЗУ, включавшие ряд фундаментальных теоретических положений: теорию подготовки заготовок к захвату, теорию захвата заготовок захватывающими органами, теорию ориентации и переориентации заготовок, теорию выдачи заготовок в приемники. На основе аппроксимации экспериментальных исследований 16 типов БЗУ были получены корректные выражения для описания вероятности захвата в них конкретных заготовок в виде

$$\eta = a - b \cdot v^4,$$

значения входящих в выражение коэффициентов a и b , а также их графическая визуализация в совокупности с моделями фактической производительности P_f [13].

Впервые теоретически процесс захвата заготовок при различных способах ориентирования в дисковых карманчиковых БЗУ с использованием теории вероятности описал профессор, доктор технических наук М.В. Медвидь. Процесс захвата карманом падающей на поверхность вращающегося диска заготовки учитывал помехи со стороны других заготовок, в том числе от их сцепляемости между собой, и скорости захватывающих органов. Это позволило описать вероятность захвата по выражению

$$\eta = p_i p_c p_v,$$

в котором $p_i = p_k p_l p_m$ представляет собой вероятность нахождения заготовки на пути захватывающего органа в положении, благоприятном для захвата и определяется произведением вероятностей p_k того, что заготовка ляжет на поверхность диска наиболее благоприятной для захвата стороной, p_l того, что заготовка повернется требуемым торцом к карману и p_m – того, что при повороте отсутствуют помехи от других заготовок; вероятность p_c того, что захвату не мешает взаимосцепляемость заготовок; вероятность p_v того, что захвату заготовки не мешает слишком высокая скорость карманов. В выражения для описания вероятностей входили геометрические параметры заготовок различных форм, конструктивные параметры БЗУ, окружная скорость карманов, коэффициент трения, как между заготовками, так и между заготовками и элементами БЗУ, контактирующими с ними [86].

За рубежом одновременно с работами советских ученых *W. Groh* ввел термины упорядочения заготовок, степень беспорядка и вероятность порядка (вероятности положения штучных заготовок в пространстве) для трех простых по форме заготовок с целью выявления необходимого числа механизмов для приведения их в порядок (ориентирования) [4].

В работе *S. Hesse* и *H. Zapf* приведены сведения об автоматической загрузке штучных заготовок с развернутой классификацией функциональных механизмов автоматических загрузочных устройств, рекомендациями по их выбору, областям применения и проектированию [5].

В работах *G. Boothroyd*, *C. Poli.*, *L. Murch* представлены результаты исследований в области автоматизации процессов подачи заготовок в сборочное оборудование: классификационно-кодировочная система, охватывающая 900 возможных комбинаций геометрических признаков заготовок, 60 типов механических и вибрационных БЗУ с рекомендациями по их использованию в соответствии кодам заготовок, с основными техническими параметрами и характеристиками производительности, скорости и вероятности захвата заготовок в зависимости от их геометрических параметров или параметров устройства [2, 6].

В работе *B.Z. Sandier* рассматривается классификация заготовок, описываются различные виды загрузочных устройств, в том числе механические дисковые БЗУ, предлагаются простые формулы для расчета геометрических размеров захватывающих органов при различных вариантах их расположения и частоты вращения захватывающих органов, представлены схемы пассивного и активного ориентирования заготовок за пределами БЗУ [11].

Конструкции БЗУ, области их применения и задачи их проектирования анализируются и рассматриваются в работе *B. Benhabib* [1]. В работе *S. Ghosh* и *S.P. Singh* представлены некоторые типы БЗУ и ставятся задачи оптимизации их параметров с целью повышения производительности, определяются основные факторы, влияющие на производительность БЗУ, к которым относятся находящееся в бункере количество заготовок, их геометрические параметры, угол наклона бункера, скорость и размеры захватывающих и ориентирующих органов. В результате проведенных экспериментальных исследований были получены эмпирические модели и оптимизированы параметры БЗУ [3].

Анализ работ зарубежных ученых позволил сделать вывод о том, что большинство из них характеризуются прикладной направленностью исключительно в области практики при проектировании БЗУ, отсутствием в них широ-

ких теоретических и экспериментальных исследований и научного обобщения, что в целом не позволит использовать эти труды при описании процессов функционирования БЗУ для асимметричных полых по торцам заготовок.

На основе обобщения теоретических и экспериментальных исследований В.Ф. Прейса и М.В. Медвидя, расширения области применения и устранения ограничений подходов советских ученых была разработана, обоснована и эффективно применена методология построения моделей вероятности захвата заготовок при описании производительности БЗУ механического типа в зависимости от параметров заготовок и БЗУ в виде теоретически получаемого математического выражения

$$\eta = \eta_{\max}(1 - \varepsilon v^4),$$

где $\eta_{\max}$ – максимальное значение вероятности захвата при окружных скоростях карманов близких к нулю, представляющий собой произведение вероятности p_i нахождения заготовок по направлению к карману в положении, благоприятном для захвата, и вероятности p_c того, что захвату не мешает взаимосцепляемость заготовок; ε – коэффициент, определяемый предельным значением окружной скорости карманов $v_{\text{пред}}$, при которой в карман не упадет ни одна заготовка [7, 8, 10, 52, 53, 55, 56].

Разработка математических моделей в виде представленного выражения, преимущественно для заготовок с неявной асимметрией и их пассивным ориентированием, позволяет корректно описать захват из нескольких положений заготовки на вращающемся диске, влияние окружной скорости карманов и ее предельного для захвата значения, учесть зону захвата заготовок, влияние на производительность БЗУ размеров и расположения органов захвата и ориентирования, геометрических размеров и формы заготовок, коэффициентов трения между заготовками и между заготовками и элементами конструкции БЗУ [92].

На представленную методологию опирались работы С.А. Лукина, в которых была рассмотрена загрузка других типов заготовок – стержневых заготовок в форме колпачка с явным смещением центра масс и были экспериментально

получены регрессионные выражения для описания вероятности захвата при различных уровнях засыпки заготовками бункера, позволившие определить оптимальную для повышения производительности высоту заполнения. Разработанное БЗУ с захватом в радиальными карманами заготовок в положении стоя и их пассивным ориентированием показало свою эффективность для заготовок с соотношением длины и наибольшего диаметра $l / d_2 \geq 2$ [76, 77, 80].

В работе А.А. Борисова данная методология была применена при описании захвата тангенциально расположенными карманами и активным ориентированием асимметричных ступенчатых стержневых, в том числе сложных, заготовок с несколькими составными частями и переходами с $l / d_2 \geq 3$ [32].

В работах И.В. Пузикова для одно- и многокомпонентных заготовок с $l / d_2 \geq 2,5$, с явной и неявной асимметрией, при захвате радиальными карманами и дальнейшим их активным ориентированием, описанная ранее методология расширила область применения. Модели учитывали коэффициенты трения всех поверхностей изготовленных из различных материалов изделий [126, 127] и их возможные значения [74].

2. Усовершенствованное с учетом обеспечения наиболее высокой вероятности захвата БЗУ должно стабильно функционировать, выполняя стопроцентное ориентирование всех захваченных карманами заготовок с их последующей выдачей в накопительное устройство (см. рисунок 1.6). Это реализуется путем разработки ограничений на конструктивные и кинематические параметры конструктивных элементов усовершенствованного БЗУ, участвующих в процессе пассивного (активного) ориентирования заготовок.

Данная задача решается с помощью принципов пространственной геометрии и прорисовки заготовок и траектории их движения при захвате и ориентировании. При этом учитывается невозможность западания в карман одновременно нескольких заготовок, но при этом зазор в кармане должен обеспечить максимально возможную вероятность захвата, не нарушая принципа ориентирования. Органы захвата и ориентирования в случае износа должны иметь возможность регулировки их размеров и, при необходимости, быть в кротчайшие

сроки заново изготовлены с минимальными временными и материальными затратами. Решение данной задачи представляется в виде допустимых для нормального функционирования БЗУ диапазонов параметров БЗУ в виде математических выражений, включающих параметры заготовок и БЗУ [20].

При разработке ограничений необходимо определить рабочие диапазоны окружной скорости карманов не только по захвату, но и по ориентированию и выдачи, чтобы заготовка смогла беспрепятственно завершить эти процессы и быть в нужном количестве направлена из БЗУ к рабочим органам технологического оборудования.

В работах С.А. Лукина разрабатывались ограничения на конструктивные параметры органов захвата и ориентирования усовершенствованного универсального БЗУ с пассивным ориентированием и захватом стержневых заготовок в форме колпачка в положении стоя в виде рабочих диапазонов значений ширины, длины и высоты карманов, геометрических параметров регулируемого ориентатора, и оценивалось влияние на них размеров заготовок, коэффициента трения, угла наклона бункера [80].

В работах А.А. Борисова получены диапазоны конструктивных параметров тангенциальных карманов усовершенствованного универсального БЗУ с активным ориентированием для асимметричных ступенчатых стержневых, в том числе сложных, заготовок с несколькими составными частями и переходами, а также математическое выражение и графическая визуализация угла начала переориентирования заготовок [41, 109].

В работах И.В. Пузикова для разработанного универсального БЗУ с радиальными карманами и регулируемым кольцевым ориентатором, в котором реализовано активное ориентирование были получены конструктивные ограничения на органы захвата и ориентирования для обеспечения следующих условий: карман должен захватить изделие в правильном положении полностью и с наиболее высокой вероятностью; кольцевой ориентатор должен препятствовать захвату карманом изделия в неправильном положении и способствовать захвату изделий в правильном положении; копир должен иметь свободный доступ к не-

правильно запавшему в карман изделию, чтобы смочь подхватить изделие и переориентировать его; карман должен удерживать неправильно запавшее изделие до его переориентирования [128].

В работах Е.В. Пантюхиной для заготовок с неявной асимметрией были разработаны не только конструктивные ограничения на органы захвата и ориентирования усовершенствованных БЗУ [93, 94], но и дифференциальные уравнения движения заготовок из карманов в радиальные пазы до их полного выпадения из них, позволяющие определить граничные значения окружной скорости БЗУ по ориентированию [99, 101].

Таким образом, диапазоны кинематических параметров органов захвата и ориентирования определяют значения окружных скоростей, при которых возможен захват, ориентирования и выдача заготовок. Предельные окружные скорости по захвату разрабатываются при построении математических моделей вероятности захвата и производительности БЗУ; а предельные окружные скорости по ориентированию и выдаче – на основе разработки и решения дифференциальных уравнений движения заготовки на этапах соответственно процесса ориентирования заготовки в верхней части бункера БЗУ и выдачи заготовки из карманов в приемник.

Все описанные работы сначала базировались на разработке усовершенствованных БЗУ, а затем построении моделей вероятности захвата и производительности, позволяющих обосновать выбор рациональных параметров. Это не всегда является корректным, так как изначально путем построения моделей вероятности захвата и производительности для конкретных типов заготовок уже на этом этапе можно наметить пути совершенствования БЗУ [107].

Например, в некоторых БЗУ переход с пассивного ориентирования на активный не приведет к существенному повышению производительности [18, 19], но может при этом привести к большим тратам при переходе. Поэтому при усовершенствовании нужно не менять принцип ориентирования в конструкции БЗУ, а найти пути увеличения вероятности захвата.

3. Для подтверждения корректной разработки математических моделей и стабильного функционирования необходимо проведение экспериментальных исследований усовершенствованного БЗУ для различных заготовок.

Проведенные ранее экспериментальные исследования показали высокую сходимость теоретических выводов экспериментальным, работоспособность разработанных усовершенствованных БЗУ и их возможность переналадки под несколько типоразмеров заготовки, однако многие из них из-за ограниченных возможностей привода проводились на окружных скоростях органов захвата существенно ниже тех, при которых производительность усовершенствованных БЗУ была максимальной, что не позволило более точно оценить адекватность разработанных моделей производительности [7, 42, 81, 92].

4. Разработка методики проектирования усовершенствованного БЗУ для широкой номенклатуры загружаемых асимметричных заготовок конкретного типа полезна для практического применения на производстве, существенно облегчая задачу разработчиков особенно при наличии соответствующего программного обеспечения. Программы позволят в автоматическом режиме под каждую конкретную заготовку (или группу заготовок в случае универсальности БЗУ) определить границы допустимых параметров органов захвата и ориентирования, выбрать их значения и рассчитать максимальную (требуемую) производительность, показав при каком значении окружной скорости она обеспечивается [111].

Таким образом, эффективность работы БЗУ оценивается тремя основными показателями: надежностью (стабильностью) при выполнении захвата, ориентирования и выдачи заготовок; универсальностью (в БЗУ имеется возможность ориентирования заготовок различных размеров и форм путем регулировки захватывающих и ориентирующих органов); высокой производительностью (в БЗУ создаются условия, при которых будет обеспечен с наибольшей вероятностью захват заготовок в требуемом ориентированном положении, все захваченные заготовки будут сориентированы в БЗУ и выданы из него). Все эти факторы должны учитываться при проектировании БЗУ, что позволит обеспечить

все необходимые условия для надежной и производительной загрузки заготовок в технологическое оборудование.

В результате обзора существующих исследований и разработок в области проектирования БЗУ сформированы цели и задачи диссертационного исследования.

Цель исследования – повышение производительности дискового БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения путем реализации наиболее эффективного способа захвата и ориентирования и обоснования рациональных параметров рабочих органов устройства.

Для достижения цели исследования сформулированы и решены следующие основные **задачи исследования**:

1 Провести анализ возможных способов захвата и ориентирования в БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения, разработать математические модели вероятности благоприятного захвата для каждого из них и теоретически обосновать направления модернизации БЗУ.

2 Разработать для полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения усовершенствованное дисковое БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки, реализовав в нем теоретически обоснованные способы захвата и ориентирования, при которых производительность максимальна.

3 Разработать конструктивные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования усовершенствованного БЗУ, определяющие в виде диапазонов взаимосвязанных параметров заготовок и БЗУ условия его стабильного функционирования.

4 Разработать математические модели вероятности захвата полых по торцам асимметричных заготовок для описания и построения математических моделей производительности усовершенствованного БЗУ.

5 Провести экспериментальные исследования на натурном макете усовершенствованного БЗУ для нескольких видов полых по торцам асимметричных заготовок для проверки стабильного функционирования БЗУ и адекватности разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности.

6 Разработать методику проектирования и обоснования эффективной конструкции усовершенствованного БЗУ для различных типов полых по торцам асимметричных заготовок.

7 Разработать компьютерные программы для расчета и теоретического исследования вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ в зависимости от его параметров и параметров загружаемых полых по торцам асимметричных заготовок.

1.4 Выводы

1 Асимметричные ступенчатые заготовки (изделия, полуфабрикаты, детали, компоненты и т.п.) формы тел вращения, имеющие полости на каждом или на одном из своих торцов, часто встречаются в массовых производствах, что обуславливает необходимость разработки систем их автоматической подачи в ориентированном положении к оборудованию технологических линий. При этом данные системы должны быть надежны и обладать требуемой производительностью с возможностью ее повышения.

2 Усовершенствованные в последние десятилетия БЗУ, в том числе универсального типа, разрабатываются и надежно функционируют или для стержневых заготовок, у которых длина в 2,5 и более раз превышает диаметр (карманчиковые БЗУ с расположенным под углом 45 градусов вращающимся диском), или для плоских заготовок (БЗУ с вертикально расположенным вращающимся диском). БЗУ для заготовок, высота которых составляет от 0,9 до 1,5 диаметра, при эксплуатации показали такие проблемы, как расположение заго-

товок в кармане в положении лежа, а не стоя; истирание копира при эксплуатации с возникающей из-за этого потребностью повторного его изготовления. Все это снижает надежность, технологичность, производительность и обуславливает необходимость разработки эффективно функционирующего универсального БЗУ для асимметричных заготовок с полостями по одному или двум торцам, у которых высота в 1,2...2 раза превышает наибольший диаметр.

3 БЗУ должно обеспечивать захват заготовок с наибольшей вероятностью, что позволит получить высокие значения производительности и выявить параметры БЗУ, при которых они будут обеспечены. Это возможно при разработке и теоретическом исследовании математических моделей вероятности захвата, которые позволят не только обосновать наиболее благоприятный способ захвата и ориентирования при усовершенствовании БЗУ, реализовав его наибольшую эффективность, но и определить параметры БЗУ, при которых будет обеспечена его требуемая производительность.

4 Усовершенствованное с учетом обеспечения наиболее высокой вероятности захвата БЗУ должно стабильно (надежно) функционировать, выполняя стопроцентное ориентирование всех захваченных карманами заготовок с их последующей выдачей в накопительное устройство. Это реализуется путем разработки ограничений на конструктивные и кинематические параметры конструктивных элементов БЗУ, участвующих в процессе ориентирования заготовок. Данная задача решается с помощью принципов пространственной геометрии и прорисовки заготовок и траектории их движения при захвате и ориентировании. При этом учитывается невозможность западания в карман одновременно нескольких заготовок при выбранном на основе теоретических исследований вероятности захвата зазоре в кармане, не нарушая при этом принципа ориентирования. Органы захвата и ориентирования в случае износа должны иметь возможность регулировки их размеров и, при необходимости, в кратчайшие сроки заново изготовлены с минимальными временными и материальными затратами. Решение этой задачи представляется в виде допустимых для нормального

функционирования БЗУ диапазонов параметров БЗУ в виде математических выражений, включающих параметры заготовок и БЗУ.

5 Для подтверждения корректной разработки математических моделей и стабильного функционирования необходимо проведение экспериментальных исследований усовершенствованного БЗУ для различных заготовок. Проведенные ранее экспериментальные исследования по другим типам усовершенствованных БЗУ показали высокую сходимость теоретических выводов экспериментальным, подтвердили их работоспособность и возможность переналадки под несколько типов заготовок, однако многие из них из-за ограниченных возможностей привода проводились на окружных скоростях существенно ниже тех, при которых производительность БЗУ была максимальной, что не позволило более точно оценить адекватность разработанных моделей.

6 Разработка методики проектирования БЗУ для широкой номенклатуры загружаемых асимметричных заготовок конкретного типа полезна для практического применения на производстве, существенно облегчая задачу разработчиков особенно при наличии соответствующего программного обеспечения, позволяющего в автоматическом режиме под каждую конкретную заготовку (или группу заготовок в случае универсальности БЗУ) определить границы допустимых параметров органов захвата и ориентирования, выбрать их значения и рассчитать максимальную (требуемую) производительность, показав, при каком значении окружной скорости она обеспечивается.

**ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК
НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ВЕРОЯТНОСТИ БЛАГОПРИЯТНОГО ЗАХВАТА**

Для того чтобы описать фактическую производительность механического дискового БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок с использованием описанной ранее методологии необходимо получить математическое выражение для вероятности захвата заготовок в БЗУ и оценить конструктивные возможности и особенности БЗУ, которые приведут к повышению вероятности захвата. Затем на основании этого обоснованно предлагать те или иные усовершенствования существующих и известных ранее устройств.

Процесс захвата заготовок определяется влиянием целого ряда факторов (вероятностей) и в связи с этим обеспечивается (определяется):

- условиями для благоприятного захвата заготовки требуемым положением (положением, из которого заготовка будет потом приведена в требуемое ориентированное положение) (чем лучше созданы условия для захвата, тем выше производительность БЗУ) – описывается вероятностью p_i ;

- взаимосцепляемостью заготовок между собой (чем сильнее заготовки взаимосцепляются при их захвате, тем ниже вероятность захвата и производительность БЗУ) – описывается вероятностью p_c ;

- окружной скоростью v органов захвата (чем ниже окружная скорость, тем вероятность захвата больше, но производительность БЗУ меньше; чем больше окружная скорость, тем вероятность захвата меньше, но производительность БЗУ больше; но при достижении ее определенного значения производительность БЗУ начинает резко снижаться до нуля, когда из-за слишком высокой скорости $v_{пред}$ в карман не успевает запасть ни одна заготовка) – описывается вероятностью p_v [102].

На основе изложенного, вероятность захвата заготовок представляется в модели в виде:

$$\eta = p_i p_c p_v = p_i p_c \left(1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4} \right). \quad (2.1)$$

Таким образом, построение математической модели вероятности захвата полых по торцам асимметричных заготовок будет сводиться к описанию каждой из трех вероятностей на основе теории вероятностей [45, 72]. На производительность БЗУ важнейшую роль из всех вероятностей оказывает вероятность p_i , которая определяется способами захвата и ориентирования. Чтобы выяснить, какой из них для рассматриваемых полых по торцам заготовок наиболее эффективен, то сначала разработаем модели для описания вероятности p_i благоприятного захвата.

2.1 Вероятность, учитывающая благоприятные положения заготовок для их захвата на дне бункера

Рассматриваемые в работе заготовки с полостями (полостью) по торцам в зависимости от их формы имеют поверхности I, II, III, ... и т.д. и каждой из этих поверхностей соответствуют при падении вероятности $p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$ и т.д.

При этом вероятности p_I, p_{II} относятся к наименьшему и наибольшему торцу заготовки соответственно, вероятности p_{III}, p_V в совокупности описывают боковую поверхность каждой заготовки, а вероятность p_{IV} описывает поверхность (коническую или ступенчатую плоскую) перехода одного торца заготовки в другой (рисунок 2.1).

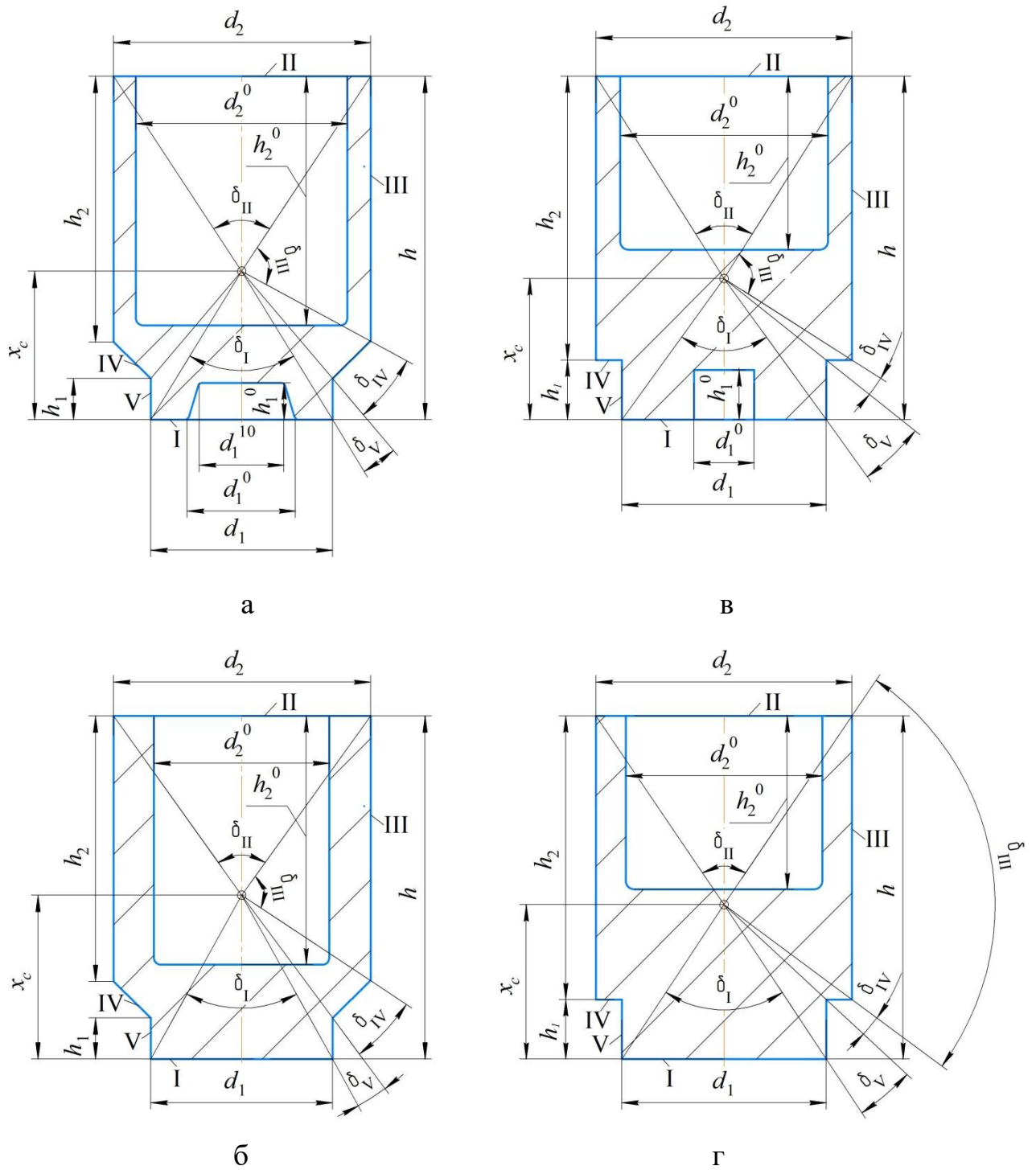


Рисунок 2.1 – Полые по двум (а, в) или одному (б, г) торцам
асимметричные заготовки с коническим (а, б) или ступенчатым (в, г) переходом
большого по диаметру торца в меньший
взаимосцепляемые (а, в) и не взаимосцепляемые (б, г)
с обозначением поверхностей и описывающих их углов $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}, \dots$:

а – тип I; б – тип II; в – тип III; г – тип VI

Чтобы определить какая из поверхностей обладает наибольшей вероятностью при падении, определим поэтапно вероятности $p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$. При этом для заготовок, показанных на рисунке 2.1, падение будет оцениваться:

- наименьшим по диаметру торцом вероятностью $p_1 = p_I + p_{IV}$,
- наибольшим по диаметру торцом вероятностью $p_2 = p_{II}$,
- боковой поверхностью $p_3 = p_{III} + p_V$.

Вероятности $p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$ описываются через углы $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}, \dots$, которые образуют каждую из пяти поверхностей заготовки, в то же время углы $\delta_{III}, \delta_{IV}, \delta_V$ являются симметричными и при их определении учитываются с каждой стороны заготовки относительно ее центральной оси.

Определим последовательно углы $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}, \dots$, получим:

$$\delta_I = 2\arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + 0,25d_1^4}}; \quad \delta_{II} = 2\arccos \frac{h - x_c}{\sqrt{(h - x_c)^2 + 0,25d_2^4}}; \quad (2.2)$$

$$\delta_{IV} = \arccos \frac{h_1 - h + x_c}{\sqrt{(h_1 - h + x_c)^2 + 0,25d_2^4}} - \arccos \frac{x_c - h_1}{\sqrt{(x_c - h_1)^2 + 0,25d_1^4}}; \quad (2.3)$$

$$\delta_V = \arccos \frac{x_c - h_1}{\sqrt{(x_c - h_1)^2 + 0,25d_1^4}} - \arccos \frac{x_c}{\sqrt{(x_c)^2 + 0,25d_1^4}}; \quad (2.4)$$

$$\delta_{III} = 360^\circ - (\delta_I + \delta_{II} + \delta_{IV} + \delta_V). \quad (2.5)$$

Тогда формулы для определения каждой вероятности $p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$ в зависимости от типа заготовки и номера (обозначения) поверхности:

$$p_I = 0,5[1 - \cos(0,5\delta_I)], \quad p_{II} = 0,5[1 - \cos(0,5\delta_{II})]; \quad (2.6)$$

$$p_{IV} = 0,5[1 - \cos(0,5(\delta_I + 2\delta_{IV} + 2\delta_V))] - 0,5[1 - \cos(0,5(\delta_I + 2\delta_V))]; \quad (2.7)$$

$$p_1 = 0,5[1 - \cos(0,5\delta_I) - \cos(0,5(\delta_I + 2\delta_{IV} + 2\delta_V)) + \cos(0,5(\delta_I + 2\delta_V))]; \quad (2.8)$$

$$p_2 = p_{II} = 0,5[1 - \cos(0,5\delta_{II})]; \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} p_3 &= p_{III} + p_V = 1 - (p_I + p_{II} + p_{IV}) = 1 - p_1 - p_2 = \\ &= 0,5 \left[\begin{aligned} &\cos(0,5\delta_I) + \cos(0,5(\delta_I + 2\delta_{IV} + 2\delta_V)) - \\ &- 0,5\cos(0,5(\delta_I + 2\delta_V)) + \cos(0,5\delta_{II}) \end{aligned} \right]. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Форма и геометрические размеры полости с одной или двух торцов у заготовки в математической модели, а также их влияние на вероятность захвата, описывается координатой центра масс x_c .

Определим для каждой полой по торцам асимметричной заготовки координату центра масс.

Для этого все рассматриваемые заготовки представим в виде совокупности сплошных и полых частей, которые могут иметь форму цилиндра или усеченного конуса.

Тогда в общем случае запишем

$V_1 = (0,5d_1)^2 \pi \cdot h_1$ – объем сплошного наименьшего цилиндрического торца;

$V_2 = (0,5d_2)^2 \pi \cdot h_2$ – объем сплошного наименьшего цилиндрического торца;

$V_{12} = \frac{1}{3} \pi \cdot (h - h_1 - h_2) \left[(0,5d_2)^2 + (0,5d_2) \cdot (0,5d_1) + (0,5d_1)^2 \right]$ – объем перехода одного торца в другой в форме сплошного усеченного конуса;

$V_{1\text{ц}}^0 = (0,5d_1^0)^2 \pi \cdot h_1^0$ – объем цилиндрической полости в наименьшем цилиндрическом торце;

$V_{1\text{ук}}^0 = \frac{1}{3} \pi \cdot h_1^0 \left[(0,5d_1^0)^2 + (0,5d_1^0) \cdot (0,5d_1^{10}) + (0,5d_1^{10})^2 \right]$ – объем полости в форме усеченного конуса в наименьшем цилиндрическом торце;

$V_{2\text{ц}}^0 = (0,5d_2^0)^2 \pi \cdot h_2^0$ – объем цилиндрической полости в наибольшем цилиндрическом торце;

$V_{2\text{ук}}^0 = \frac{1}{3} \pi \cdot h_2^0 \left[(0,5d_2^0)^2 + (0,5d_2^0) \cdot (0,5d_2^{20}) + (0,5d_2^{20})^2 \right]$ – объем полости в форме усеченного конуса в наибольшем цилиндрическом торце (рисунок 2.2).

После этого для каждой из приведенных на рисунке 2.2 заготовок запишем координаты центра масс:

$$x_{c_I} = \frac{x_{c1} \cdot V_1 + (h_1 + x_{c12}) \cdot V_{12} + (h - x_{c2}) \cdot V_2 - (h - x_{c2}^0) \cdot V_{2\Pi}^0 - x_{c1}^0 \cdot V_{1\text{ук}}^0}{V_1 + V_2 + V_{12} - V_{2\Pi}^0 - V_{1\text{ук}}^0}; \quad (2.11)$$

$$x_{c_{II}} = \frac{x_{c1} \cdot V_1 + (h_1 + x_{c12}) \cdot V_{12} + (h - x_{c2}) \cdot V_2 - (h - x_{c2}^0) \cdot V_{2\Pi}^0}{V_1 + V_2 + V_{12} - V_{2\Pi}^0}; \quad (2.12)$$

$$x_{c_{III}} = \frac{x_{c1} \cdot V_1 + (h - x_{c2}) \cdot V_2 - (h - x_{c2}^0) \cdot V_{2\Pi}^0 - x_{c1}^0 \cdot V_{1\Pi}^0}{V_1 + V_2 - V_{1\Pi}^0 - V_{2\Pi}^0}; \quad (2.13)$$

$$x_{c_{IV}} = \frac{x_{c1} \cdot V_1 + (h - x_{c2}) \cdot V_2 - (h - x_{c2}^0) \cdot V_{2\Pi}^0}{V_1 + V_2 - V_{2\Pi}^0}, \quad (2.14)$$

где x_{c1} , x_{c12} , x_{c2} , x_{c1}^0 , x_{c2}^0 – координаты центра масс по отдельности цилиндров и усеченных конусов (частей заготовок) соответственно в зависимости от места их расположения (с верхним индексом «0» – полости, находящиеся по торцам), определяемые по известным формулам из физики.

Таким образом, были получены вероятности падения на дно бункера (поверхность диска с карманами) каждой поверхностью заготовки.

Учитывая, что заготовки в бункере располагаются на всех участках не на одном уровне, необходимо получить выражения, описывающие вероятность p_i , где ее значения:

- максимальны $p_{i\max}$ (заготовки в бункере размещаются одним слоем – самая верхняя точка бункера в зоне $\phi_{\text{захв}}$ захвата), и
- минимальны $p_{i\min}$ (заготовки в бункере размещаются несколькими слоями – самая нижняя точка бункера – центр зоны $\phi_{\text{захв}}$ захвата) [96].

При этом зона захвата $\phi_{\text{захв}}$ характеризует возможную область в бункере БЗУ, в которой заготовки могут западать в карманы исходя из наиболее сложных для захвата условий – заготовка западает скольжением по диску, и определяется по полученному в работе [105] выражению в зависимости от угла α_d наклона диска и коэффициента трения μ между заготовками и диском.

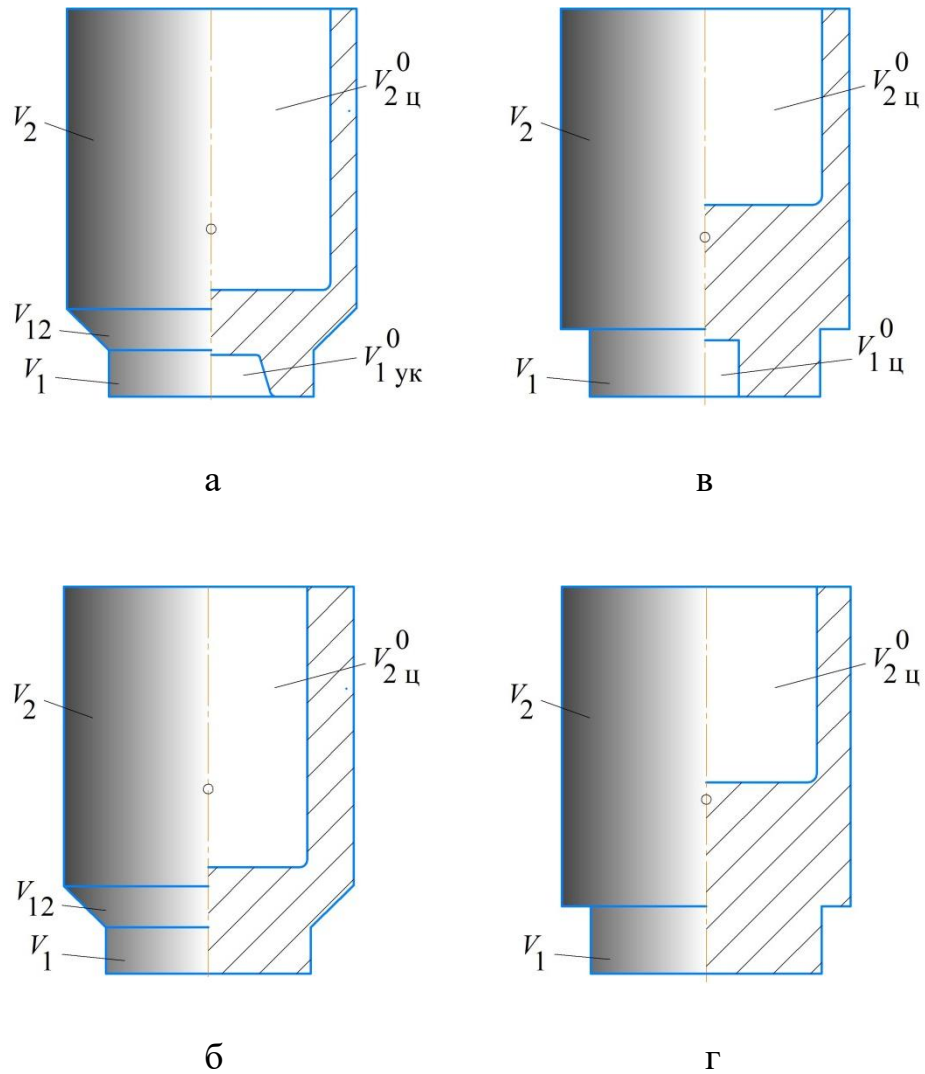


Рисунок 2.2 – Обозначения составных частей заготовок:

а – тип I; б – тип II; в – тип III; г – тип VI

Определим вероятности $p_{i\max}$ (используем рисунок 2.1) и $p_{i\min}$ (используем рисунки 2.1 и 2.3), а также вероятность p_i , в зависимости от способов захвата и ориентирования в БЗУ рассматриваемой заготовки с полостями по торцам, что в дальнейшем позволит оценить наиболее благоприятные способы захвата и ориентирования в известных БЗУ, чтобы реализовать их при модернизации БЗУ.

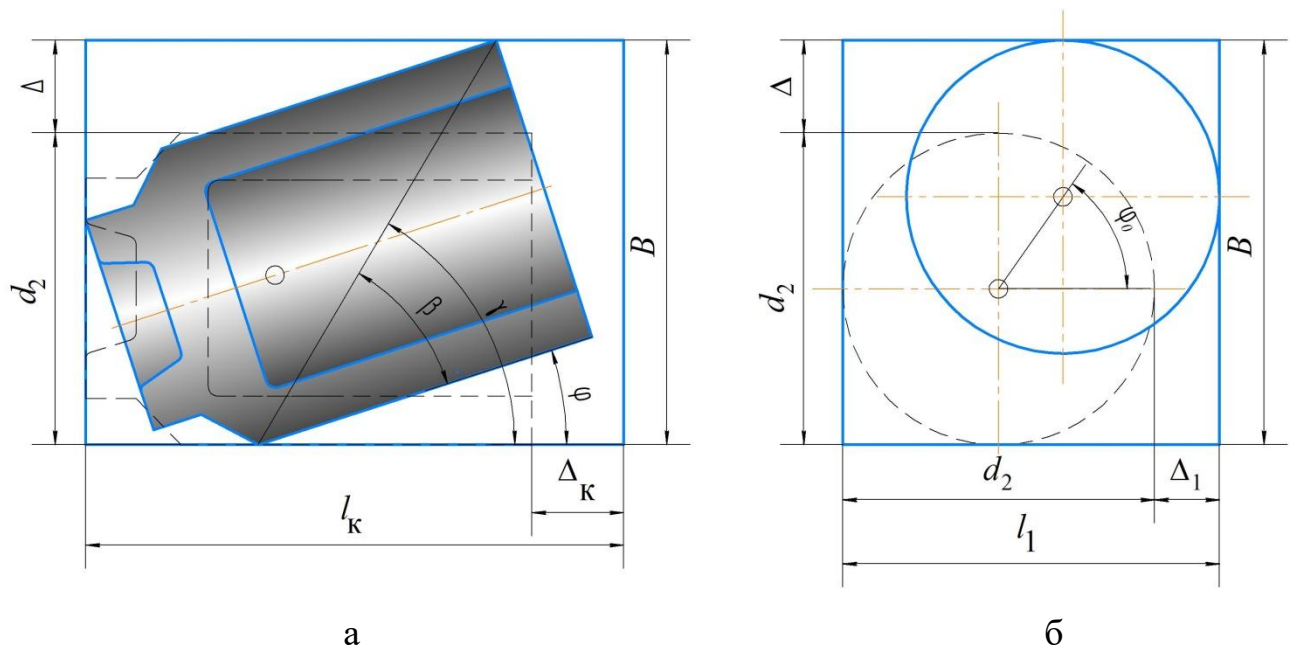


Рисунок 2.3 – Возможное отклонение в кармане
на примере полой по торцам заготовки типа I, обеспечивающее ее захват:
а – в радиальном пазу лежа; б – в кармане стоя

Ключевыми особенностями рассматриваемых заготовок является смещение центра масс и асимметрия внешней формы. Это будем учитывать при описании способа захвата и ориентирования. Рассмотрим известные способы захвата и ориентирования в известных БЗУ.

1 Захват радиальными карманами на вращающемся диске.

В БЗУ с радиальными карманами для рассматриваемой заготовки с целью ее дальнейшего ориентирования возможны следующие варианты.

1.1 В положении стоя. Заготовка движется в радиальном пазу к карману тяжелым торцом вперед, западает в него, опрокидывается и приводится в кармане к положению стоя, и в дальнейшем выпадает из кармана под действием силы тяжести, если ее движение в карман осуществлялось легким торцом вперед (пассивное ориентирование).

В этом случае для правильного захвата заготовка должна:

- упасть сразу в карман тяжелым дном – вероятность p_1 , то есть

$$P_{i\max 1} = p_1;$$

- упасть на диск боковой поверхностью p_3 , а затем развернуться на диске к карману тяжелым торцом, характеризуемым углами $\delta_I + 2\delta_{IV}$, то есть

$$p_{i \max 2} = \frac{p_3}{2\pi} (\delta_I + 2\delta_{IV} - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}).$$

Тогда суммарная вероятность

$$p_{i \max} = p_{i \max 1} + p_{i \max 2} = p_1 + \frac{p_3}{2\pi} (\delta_I + 2\delta_{IV} - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}). \quad (2.15)$$

Из той же логики получаем

$$p_{i \min} = p_{i \min 1} + p_{i \min 2} = \frac{p_1}{2\pi} (\varphi_0) + \frac{p_3}{2\pi} (\varphi)$$

или

$$p_{i \min} = \frac{p_1}{2\pi} \left[\arctan \frac{\Delta}{\Delta_k} \right] + \frac{p_3}{2\pi} \left[\arcsin \frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2^2}} - \arcsin \frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2^2}} \right]. \quad (2.16)$$

1.2 В положении лежа. Заготовка движется в радиальном пазу к карману или асимметричным торцом (с наименьшим диаметром) и западает в него полностью, или цилиндрическим торцом (с большим диаметром) вперед и западает в него частично, и в дальнейшем под действием силы тяжести выпадает из кармана (пассивное ориентирование).

В этом случае для правильного захвата заготовка должна:

- упасть на диск боковой поверхностью p_3 , а затем развернуться на диске к карману любым из своих торцов, то есть

$$p_{i \max} = \frac{p_3}{2\pi} (\delta_I + 2\delta_{IV} - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}). \quad (2.17)$$

Из той же логики получаем

$$p_{i \min} = \frac{p_3}{2\pi} (\varphi) = \frac{p_3}{2\pi} \left[\arcsin \frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2^2}} - \arcsin \frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + (h - h_1 - h_2)^2}} \right]. \quad (2.18)$$

1.3 В положении лежа. Заготовка движется в радиальном пазу к карману или асимметричным торцом (с наименьшим диаметром) и западает в него пол-

ностью, или цилиндрическим торцом (с большим диаметром) вперед и западает в него частично, и в дальнейшем под действием переориентатора опрокидывается и занимает правильное положение в кармане (активное ориентирование).

В этом случае для правильного захвата заготовка должна:

- упасть на диск боковой поверхностью p_3 , а затем развернуться на диске к карману любым из своих торцов, то есть

$$\text{асимметричным торцом: } p_{i \max 1} = \frac{p_3}{2\pi} (\delta_I + 2\delta_{IV} - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d});$$

$$\text{цилиндрическим торцом: } p_{i \max 2} = \frac{p_3}{2\pi} (\delta_{II} - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}).$$

Тогда суммарная вероятность

$$p_{i \max} = p_{i \max 1} + p_{i \max 2} = \frac{p_3}{2\pi} (\delta_I + 2\delta_{IV} - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}) + \frac{p_3}{2\pi} (\delta_{II} - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}). \quad (2.19)$$

Тогда

$$p_{i \min} = \frac{p_3}{\pi} (\varphi) = \frac{p_3}{\pi} \left[\arcsin \frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2^2}} - \arcsin \frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + (h - h_1 - h_2)^2}} \right]. \quad (2.20)$$

2 Захват тангенциальными карманами на вращающемся диске в положении лежа. В БЗУ с тангенциальными карманами для рассматриваемой заготовки с целью ее дальнейшего ориентирования возможны следующие варианты.

2.1 Заготовка движется в тангенциальному карману или асимметричным торцом вправо, или асимметричным торцом влево по направлению вращения диска. Если она запала асимметричным торцом влево, то в дальнейшем она выпадает из кармана под действием силы тяжести (пассивное ориентирование).

В этом случае для правильного захвата заготовка должна:

- упасть на диск боковой поверхностью p_3 , а затем развернуться на диске к карману боковой поверхностью, чтобы асимметричный торец был вправо

$$p_{i \max} = \frac{p_3}{2\pi} (\delta_{III} + \delta_V - 2\arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}), \quad (2.21)$$

$$p_{i \min} = \frac{p_3}{2\pi}(\varphi) = \frac{p_3}{2\pi} \left[\arcsin \frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2^2}} - \arcsin \frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + (h - h_1 - h_2)^2}} \right]. \quad (2.22)$$

2.2 Заготовка движется к тангенциальному карману или асимметричным торцом вправо, или асимметричным торцом влево по направлению вращения диска. В обоих случаях она в дальнейшем под действием силы тяжести после опрокидывания окажется в кармане (активное ориентирование).

В этом случае для правильного захвата заготовка должна:

- упасть на диск боковой поверхностью p_3 , а затем развернуться на диске к карману боковой поверхностью, то есть

$$p_{i \max} = \frac{p_3}{\pi} (\delta_{III} + \delta_V - 2 \arcsin \frac{\mu}{\alpha_d}), \quad (2.23)$$

$$p_{i \min} = \frac{p_3}{\pi}(\varphi) = \frac{p_3}{\pi} \left[\arcsin \frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2^2}} - \arcsin \frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + (h - h_1 - h_2)^2}} \right]. \quad (2.24)$$

Общий вид формулы p_i определяет расположение карманов:

- при радиальном число заготовок в зоне захвата определяет их наибольший диаметр:

$$p_i = 1 - (1 - p_{i \max})^3 (1 - p_{i \min})^{\frac{\pi R \phi_{\text{захв}}}{180 d_2}}; \quad (2.25)$$

- при тангенциальном – число заготовок определяет их высота:

$$p_i = 1 - (1 - p_{i \max})^3 (1 - p_{i \min})^{\frac{\pi R \phi_{\text{захв}}}{180 h}}. \quad (2.26)$$

В дальнейшем будут проведены теоретические исследования всех полученных выражений для выбора траектории модернизации БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок с соотношением высоты к наибольшему диаметру h / d_2 от 1,2 до 2 [30].

2.2 Обоснование направлений модернизации устройства на основе теоретического исследования вероятности благоприятного захвата

Сначала проведем оценку того, какая из вероятностей $p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$ для заготовок выше, что позволит оценить, в каком положении наиболее благоприятен захват полый по торцам заготовки в зависимости от ее габаритных размеров, определяющих в том числе положение ее центра масс. При этом падение оценим вероятностями: $p_1 = p_I + p_{IV}$ (наименьший по диаметру торец), $p_2 = p_{II}$ (наибольший по диаметру торец), $p_3 = p_{III} + p_V$ (боковая поверхность).

1. Полые по торцам заготовки с коническим переходом одного цилиндрического торца в другой цилиндрический торец (заготовки типов I и II).

При анализе введем обозначение $h/d_2 = a$. При моделировании примем $h_1 = 0,2h$, $h_2 = 0,6h$, $d_2 = 1,25d_1$, $d_1^1 = 0,6d_1$, $d_1^{10} = 0,45d_1$, $h_1^0 = 0,8h_1$, $h_2^0 = 0,85h_2$. Для сцепляемых заготовок примем $d_2^0 = 1,15d_1$ (результаты моделирования приведены на рисунке 2.4, а), а для не сцепляемых $d_2^0 = 0,85d_1$ результаты моделирования приведены на рисунке 2.4, б).

Очевидно, что наибольшая вероятность для полых по торцам заготовок упасть на боковую поверхность, так как значения вероятности составляют для сцепляемых полых по торцам заготовок в районе 0,498...0,529, а для не сцепляемых – 0,524...0,611.

Проанализируем, как будет обеспечиваться наибольшая вероятность p_i при нахождении заготовок во всей зоне захвата при различных способах и захвата и ориентирования. Коэффициентом трения варьируем по следующим значениям: $\mu = 0,3; 0,4; 0,5$.

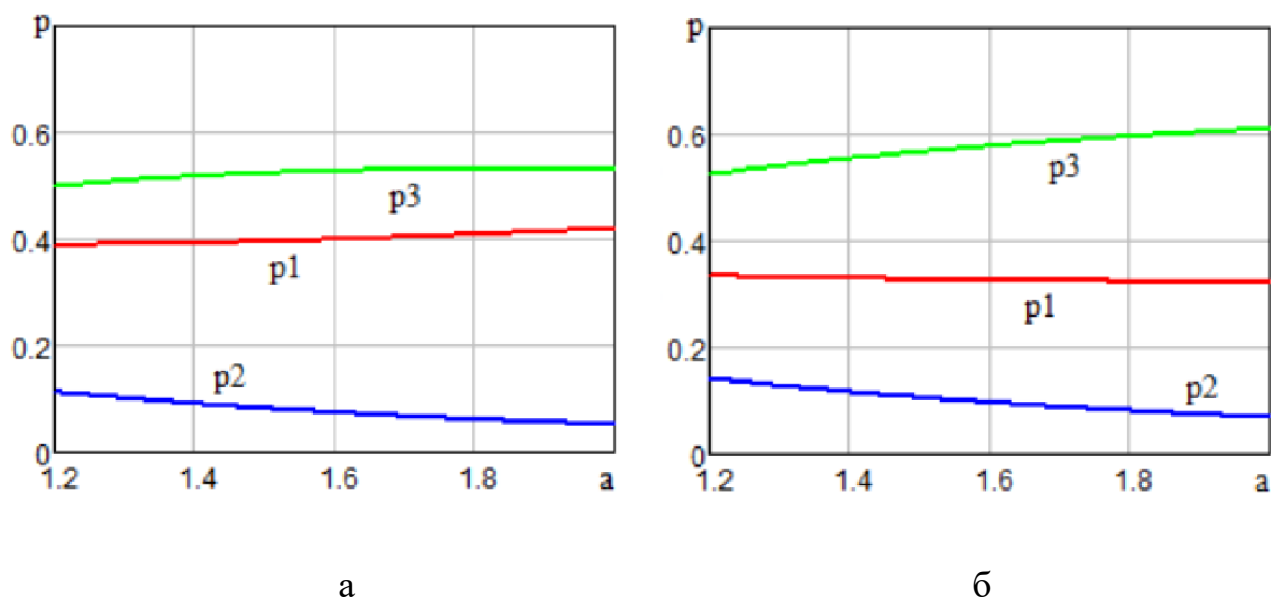


Рисунок 2.4 – Результаты моделирования вероятностей p_1 , p_2 , p_3
для сцепляемых типа I (а) и не сцепляемых типа II (б)
полых по торцам заготовок

На рисунке 2.5 показаны кривые, визуализирующие вероятность p_i и позволяющие оценить, при каком способе захвата и ориентирования вероятность p_i максимальна для полых по торцам заготовок типа I.

На рисунке 2.5 показаны варианты захвата и ориентирования:

а – захват заготовок в положении стоя радиальными карманами, пассивное ориентирование;

б – захват заготовок в положении лежа радиальными карманами, пассивное ориентирование;

в – захват заготовок в положении лежа радиальными карманами, активное ориентирование;

г – захват заготовок в положении лежа тангенциальными карманами, пассивное ориентирование;

д – захват заготовок в положении лежа тангенциальными карманами, активное ориентирование.

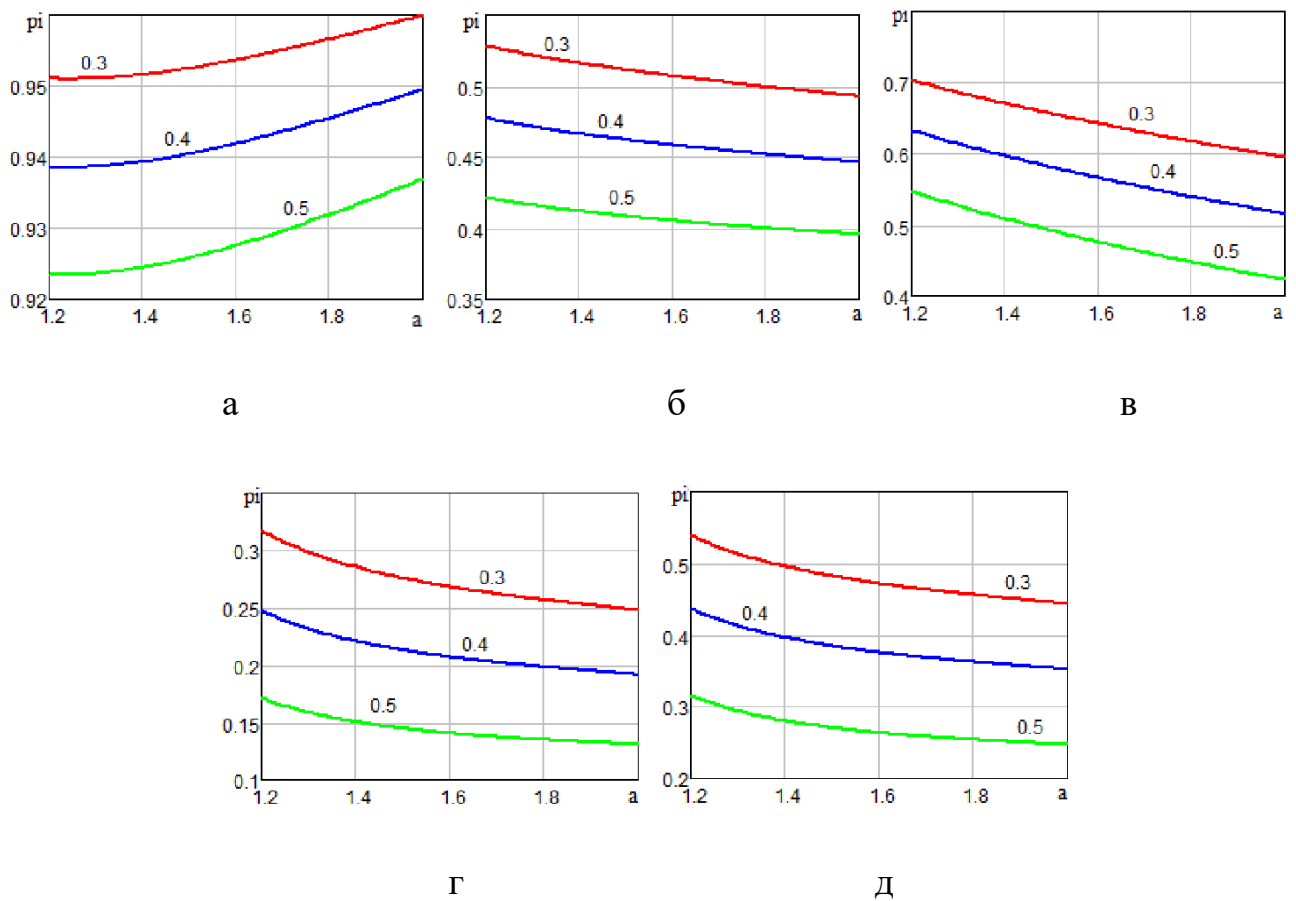


Рисунок 2.5 – Кривые, визуализирующие вероятность p_i , для оценки наиболее эффективного способа захвата и ориентирования для полых по торцам заготовок типа I при радиальных (а, б, в) и тангенциальных (г, д) карманах при различных μ

На рисунке 2.6 показаны аналогичные кривые для полых по торцам заготовок типа II.

Как графики рисунка 2.5, так и графики рисунка 2.6 показывают, что наибольшие значения вероятности p_i достигаются при радиальном расположении органов захвата в положении заготовок стоя и дальнейшим их пассивным ориентированием. В этом случае вероятность благоприятного захвата от $p_i = 0,923...0,951$ до $p_i = 0,937...0,600$ для заготовок типа I и от $p_i = 0,868...0,911$ до $p_i = 0,882...0,922$ для заготовок типа II.

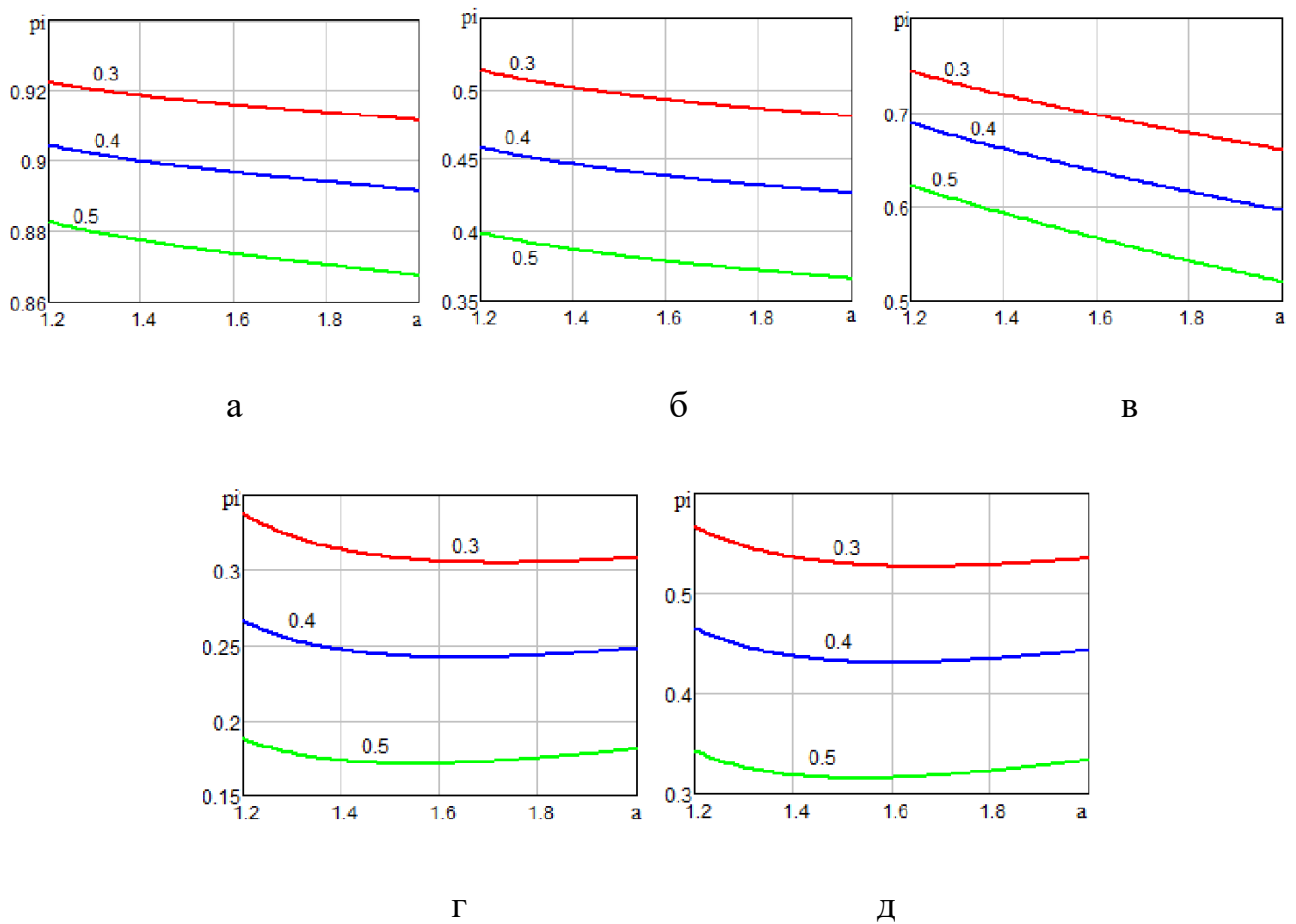


Рисунок 2.6 – Кривые, визуализирующие вероятность p_i , для оценки наиболее эффективного способа захвата и ориентирования для полых по торцам заготовок типа II: при радиальных (а, б, в) и тангенциальных (г, д) карманах при различных μ

Следовательно, именно эти способы захвата и ориентирования необходимо реализовать при модернизации БЗУ для полых по торцам заготовок с коническим переходом одного торца в другой.

Проведем аналогичные исследования и для полых по торцам ступенчатых цилиндрических заготовок типов III и IV.

2. Полые по торцам ступенчатые заготовки (заготовки типов III и IV).

При моделировании примем такие же, как и в случае заготовки с коническим переходом торцов, параметры, в том числе для сцепляемых $d_2^0 = 1,15d_1$

(результаты моделирования приведены на рисунке 2.7, а), а для не сцепляемых $d_2^0 = 0,85d_1$ (результаты моделирования приведены на рисунке 2.7, б).

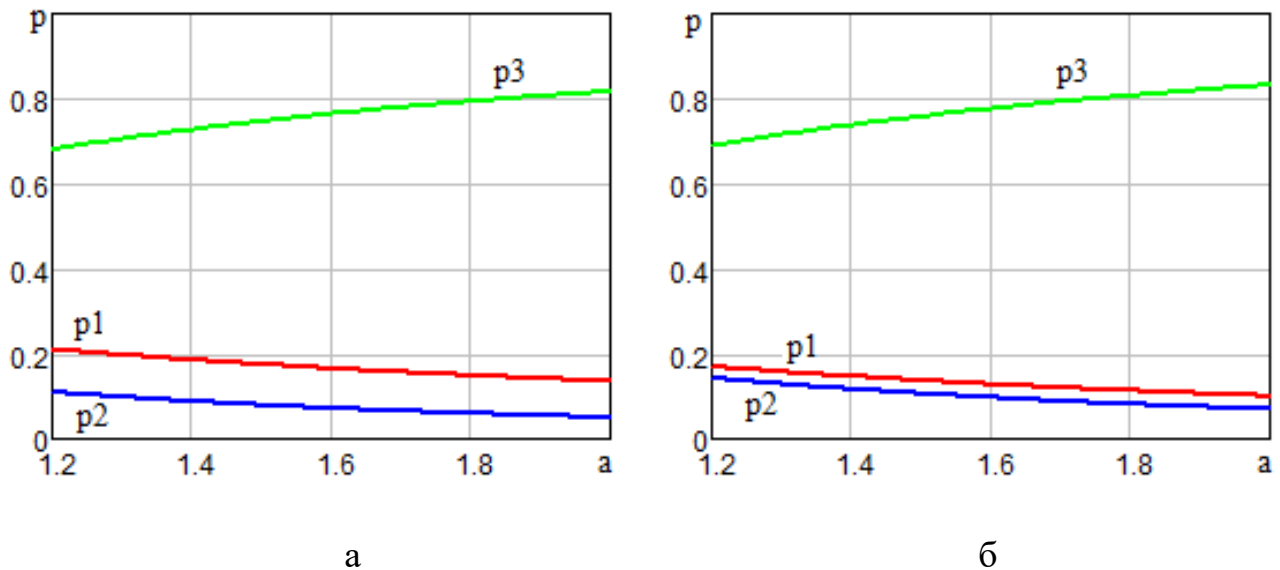


Рисунок 2.7 – Результаты моделирования вероятностей p_1 , p_2 , p_3 для сцепляемых типа III (а) и не сцепляемых типа IV (б) полых заготовок

Наибольшая вероятность для полых по торцам заготовок упасть на боковую поверхность, так как значения вероятности составляют для сцепляемых полых по торцам заготовок в районе 0,681...0,816, а для не сцепляемых – 0,689...0,832.

Проанализируем обеспечение наибольших значений вероятности p_i при нахождении полых по торцам заготовок во всей зоне захвата при различных способах и захвата и ориентирования (способы обозначены такими же, как и на рисунках 2.5 и 2.6).

На рисунках 2.8 и 2.9 показаны кривые, визуализирующие вероятность p_i и позволяющие оценить, при каком способе захвата и ориентирования она максимальна для полых по торцам асимметричных заготовок типов III и IV соответственно.

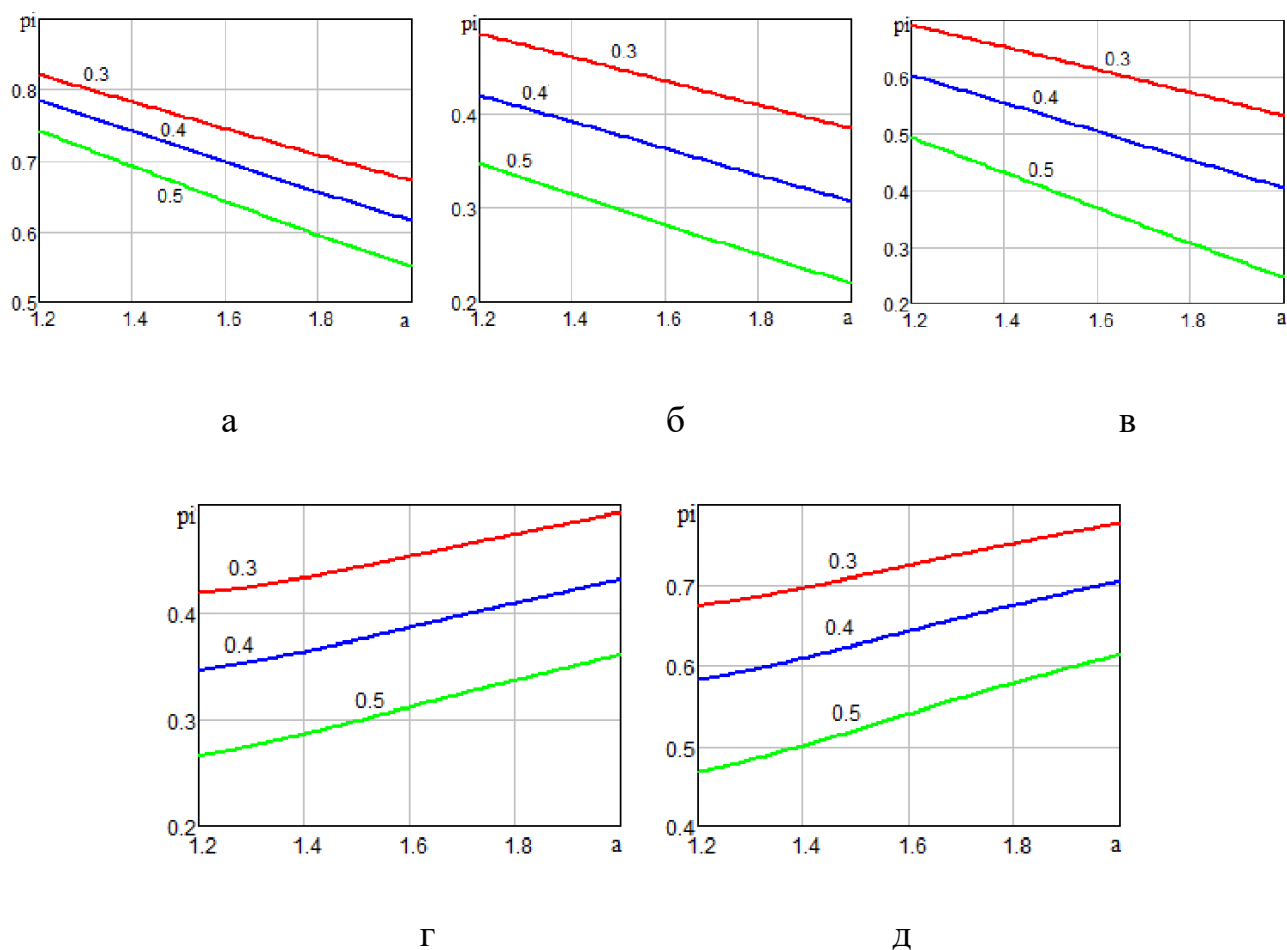


Рисунок 2.8 – Кривые, визуализирующие вероятность p_i , для оценки наиболее эффективного способа захвата и ориентирования для полых по торцам заготовок типа III при радиальных (а, б, в) и тангенциальных (г, д) карманах при различных μ

Как графики рисунка 2.8, так и графики рисунка 2.9, показывают, что наибольшие значения вероятности p_i достигаются при радиальном расположении органов захвата в положении заготовок стоя и дальнейшим их пассивным ориентированием.

В этом случае вероятность благоприятного захвата от $p_i = 0,549...0,671$ до $p_i = 0,742...0,820$ для заготовок типа III и от $p_i = 0,424...0,547$ до $p_i = 0,655...0,753$ для заготовок типа IV.

Следовательно, именно эти способы захвата и ориентирования необходимо реализовать при модернизации БЗУ для полых по торцам заготовок как с коническим переходом одного торца в другой, так и ступенчатых полых по торцам заготовок.

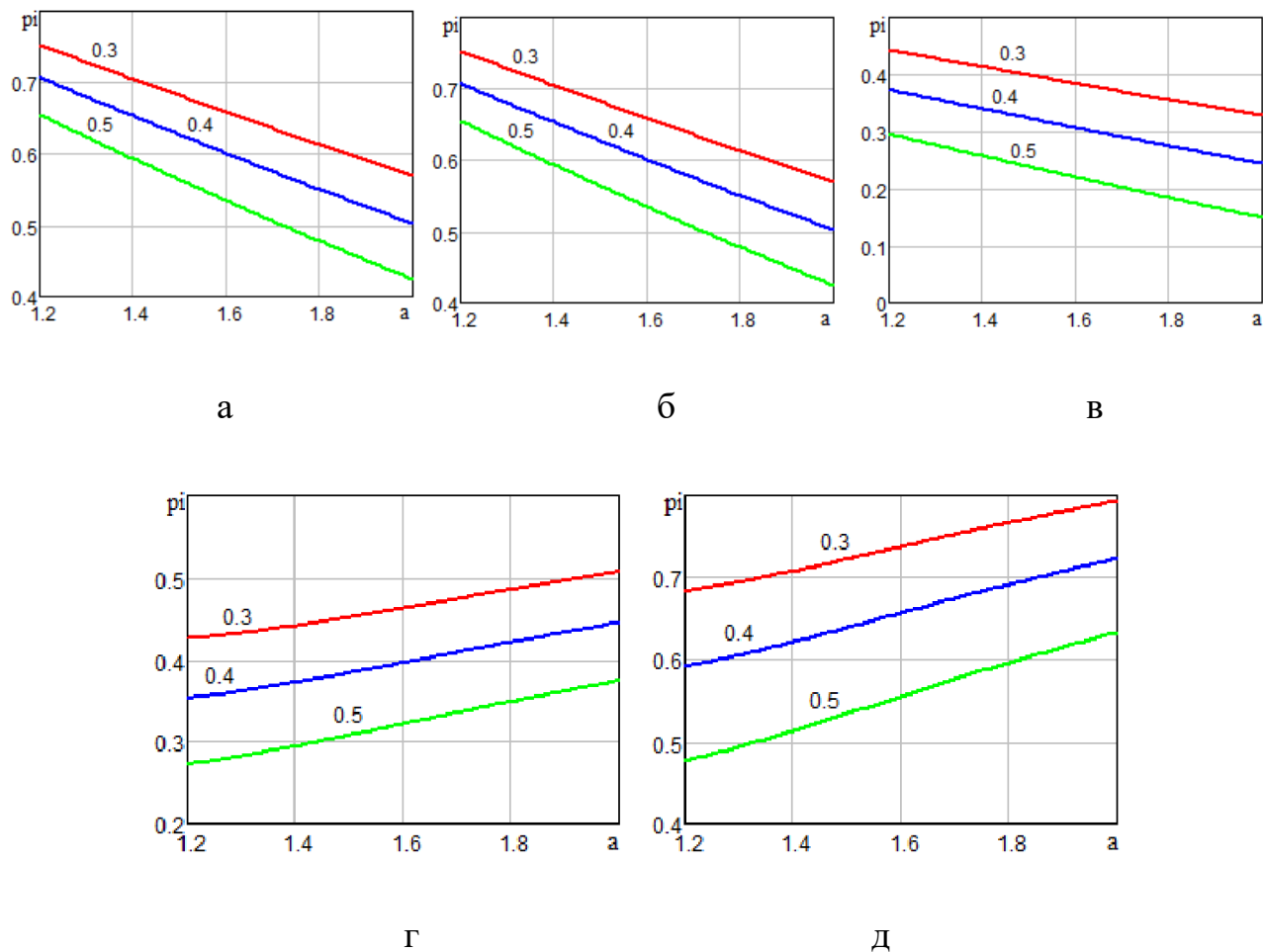


Рисунок 2.9 – Кривые, визуализирующие вероятность p_i , для оценки наиболее эффективного способа захвата и ориентирования для полых по торцам заготовок типа IV:

при радиальных (а, б, в) и тангенциальных (г, д) карманах при различных μ

Компьютерная программа, разработанная в *MathCAD* для моделирования и оценки значений вероятности p_i всех типов полых по торцам заготовок, представлена в приложении А.

2.3 Выводы

1 Для того чтобы разработать для полых по торцам асимметричных заготовок различных форм и размеров высокопроизводительное модернизированное БЗУ, необходимо на ранних этапах его проектирования оценить какие из возможно реализуемых в нем способы захвата и ориентирования для рассматриваемых заготовок будет наиболее производительны. На производительность БЗУ важнейшую роль из всех вероятностей оказывает вероятность p_i , выражение для описания которой как раз определяется способами захвата и ориентирования. Чтобы выяснить какой из них для рассматриваемых полых по торцам заготовок наиболее эффективен, то сначала была разработана модель для описания вероятности p_i благоприятного захвата.

2 Модели вероятности благоприятного захвата были разработаны для четырех типов полых по торцам (по двум или одному из них) заготовок. Теоретически разработанные математические модели включают взаимосвязи геометрических параметров заготовок при определении всех параметров модели (координата центра масс, объемы каждой части заготовки, углы, характеризующие каждую поверхность заготовки, расположение заготовок на различных участках бункера, коэффициенты трения между заготовками и БЗУ), описывают все возможные способы захвата, как радиальными (3 способа), так и тангенциальными (2 способа) карманами и учитывают, как в дальнейшем планируется реализовать ориентирование в БЗУ (активным или пассивным способом).

3 Проведя теоретические исследования вероятности p_i благоприятного захвата с использованием разработанной компьютерной программы для каждого типа заготовки при варьировании тремя значениями коэффициента трения $\mu = 0,3; 0,4; 0,5$ и соотношением $h / d_2 = a$ в диапазоне от 1,2 до 2, было выявлено, что для всех видов заготовок именно боковую поверхность при падении с наибольшей вероятностью занимают рассматриваемые полые по торцам заготовки. При этом наибольшая вероятность для полых по торцам заготовок

упасть на боковую поверхность, так как значения вероятности составляют для заготовок типа I в районе 0,498...0,529, типа II – 0,524...0,611, типа III – 0,681...0,816, типа IV – 0,689...0,832. Вероятность благоприятного захвата от $p_i = 0,923...0,951$ до $p_i = 0,937...0,600$ для заготовок типа I, от $p_i = 0,868...0,911$ до $p_i = 0,882...0,922$ для заготовок типа II, от $p_i = 0,549...0,671$ до $p_i = 0,742...0,820$ для заготовок типа III и от $p_i = 0,424...0,547$ до $p_i = 0,655...0,753$ для заготовок типа IV.

4 Результаты исследований позволили сделать вывод о том, что наибольшие значения вероятности p_i достигаются при радиальном расположении органов захвата в положении заготовок стоя и дальнейшим их пассивным ориентированием. Следовательно, именно эти способы захвата и ориентирования необходимо реализовать при модернизации БЗУ для полых по торцам заготовок как с коническим переходом одного торца в другой, так и ступенчатых полых по торцам заготовок.

5 Разработана программа, которая позволяет рассчитать и теоретически исследовать вероятность благоприятного захвата полых по торцам заготовок различных видов для всех возможных способов захвата и ориентирования. Это позволит спроектировать наиболее производительное БЗУ, реализовав в нем те способы захвата и ориентирования, которые наиболее эффективны.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК

3.1 Описание усовершенствованного устройства, принципа работы и регулировки для различных заготовок

Чтобы соответствовать возможностям современных технологических линий и стабильно обеспечивать их ориентированными полыми по торцам заготовками БЗУ должно обладать высокой производительностью и универсальностью в некотором диапазоне. Поэтому необходимо комплексно подойти к определению параметров и формы рабочих органов БЗУ, которые позволят обеспечить стабильную работу устройства и повысить вероятность захвата заготовок в необходимой ориентации, что особенно важно для БЗУ с пассивным ориентированием.

Для асимметричных заготовок полых по торцам, отличающихся соотношением высоты и наибольшего диаметра в диапазоне от 1,2 до 2, было предложено модернизированное БЗУ с регулируемой высотой кармана и специальными скосами, расположенными между карманами на вращающемся диске. БЗУ для асимметричных заготовок полых по торцам (рисунок 3.1) содержит совокупность элементов. Бункер БЗУ представляет собой образованную неподвижным основанием с вращающимся диском и обечайкой чашу для засыпки полых по торцам заготовок. На вращающемся диске равномерно расположены радиальные карманы, между которых располагаются специальные направляющие скосы формы треугольной призмы, способствующие западению в карманы тангенциально расположенных по периферии диска заготовок. Для повышения вероятности захвата перед каждым карманом располагается радиальный паз. Длина всех радиальных пазов не одинаковая, чтобы по периферии диска разместить максимально возможное количество карманов. Поэтому на диске короткие и длинные пазы чередуются.

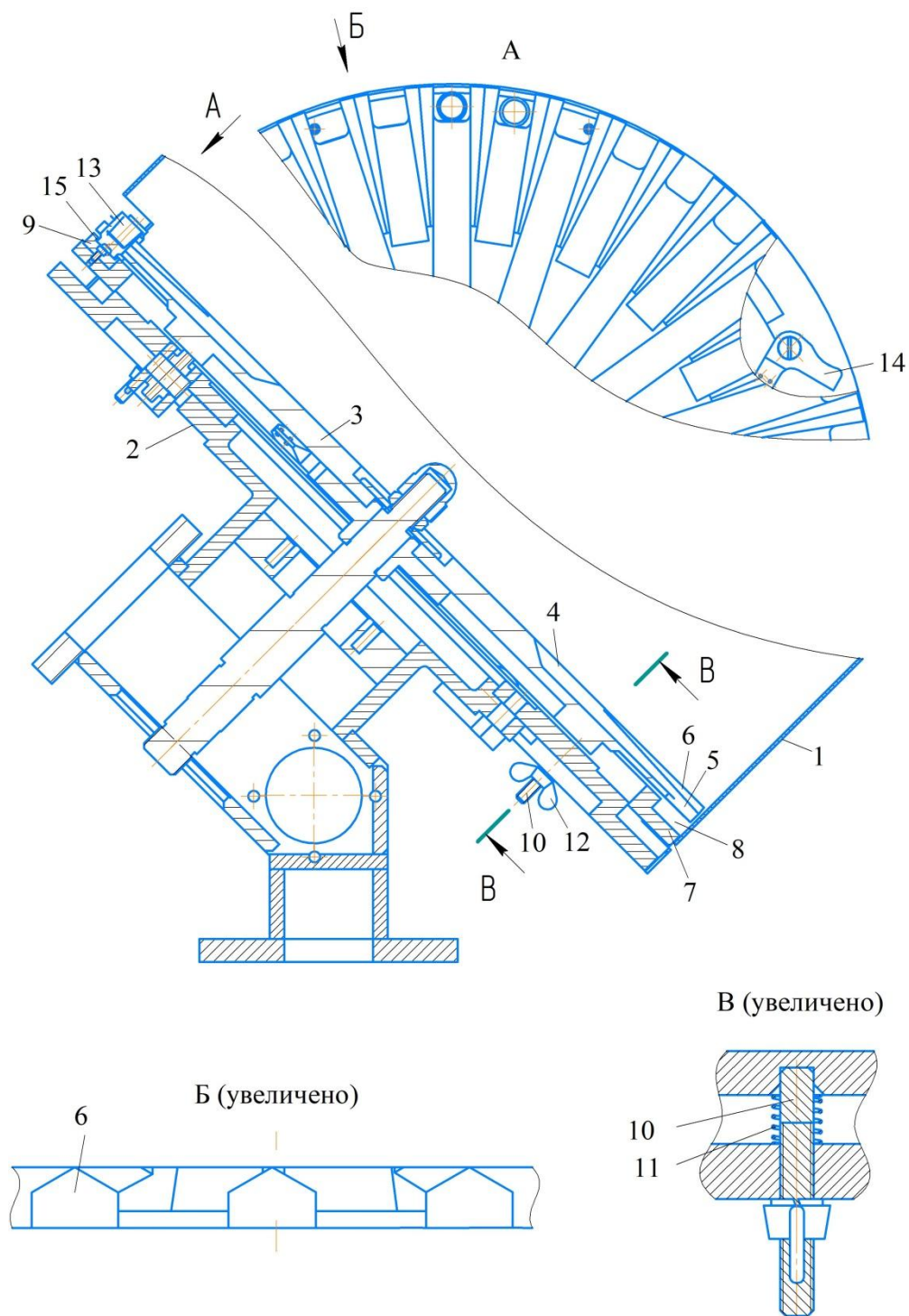
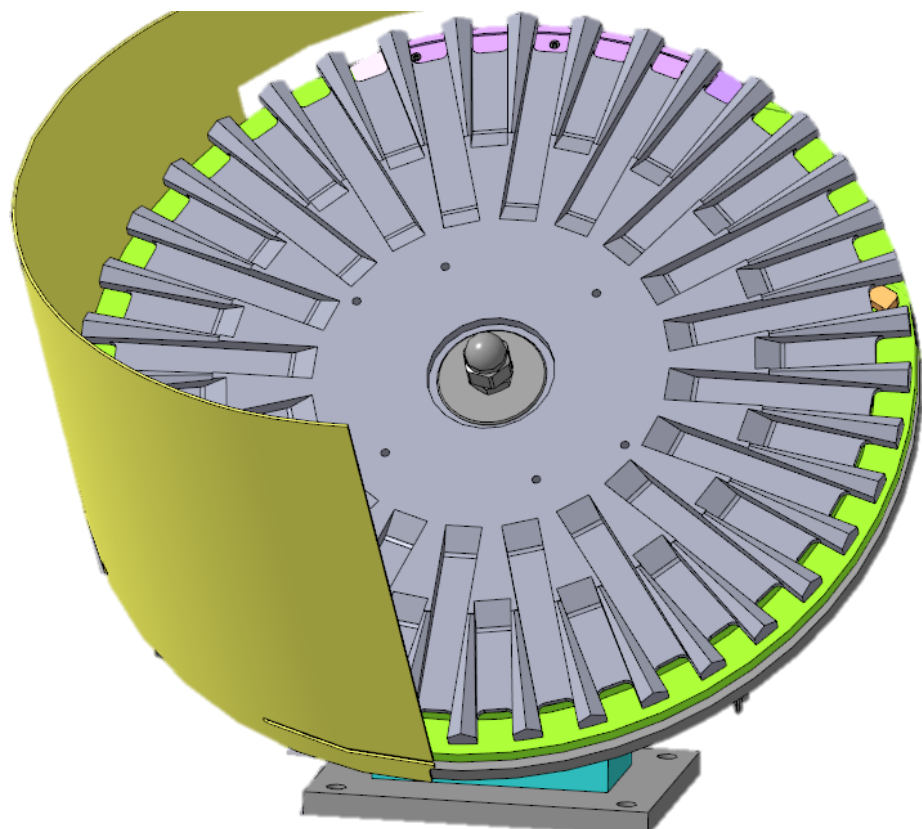


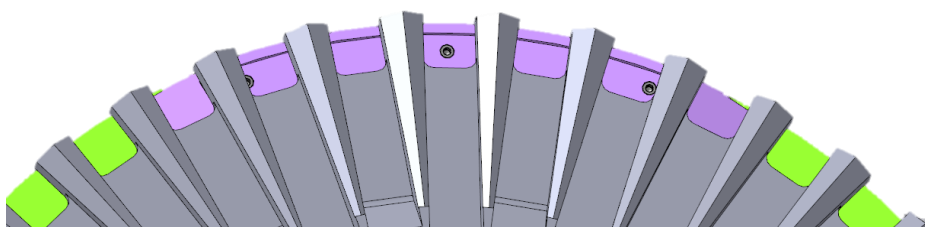
Рисунок 3.1 – Модернизированное устройство для полых по торцам заготовок:

- 1 – обечайка бункера; 2 – основание; 3 – вращающийся диск;
 4 – радиальные пазы; 5 – радиальные карманы; 6 – направляющие скосы;
 7 – кольцо; 8 – кольцевая проточка; 9 – планка; 10 – шпилька;
 11 – пружина; 12 – гайка для регулировки и переналадки; 13 – заготовка;
 14 – собачка; 15 – паз планки

На рисунке 3.2 представлен общий вид 3D-модели конструкторского решения, модернизированного БЗУ, которое может быть использовано для автоматической загрузки асимметричных заготовок полых по торцам с соотношением высоты и наибольшего диаметра в диапазоне от 1,2 до 2.



а



б

Рисунок 3.2 – Общий вид 3D-модели конструкторского решения модернизированного БЗУ (а) и место установки планки в верхней зоне (б)

Кольцо представляет собой элемент БЗУ, в котором выполнена кольцевая проточка, с четырьмя вваренными шпильками, к каждой из которых имеется

пружина и гайка для возможности регулировки и переналадки. Это делает разработанное БЗУ универсальным для определенного типоразмера полых по торцам асимметричных заготовок.

Так при необходимости загрузки других асимметричных заготовок полых по торцам, отличающихся в диапазоне соотношения высоты и наибольшего диаметра от 1,2 до 2, наладка производится путем регулирования высоты кармана. Регулировка под каждую заготовку осуществляется под процесс ориентирования так, как показано на рисунке 3.3, а также под процесс захвата. При необходимости увеличения высоты кармана, вращая регулировочные гайки по часовой стрелке, пружины начинают сжиматься и кольцо, лежащее на пружинах, опускается, высота кармана увеличивается, и наоборот.

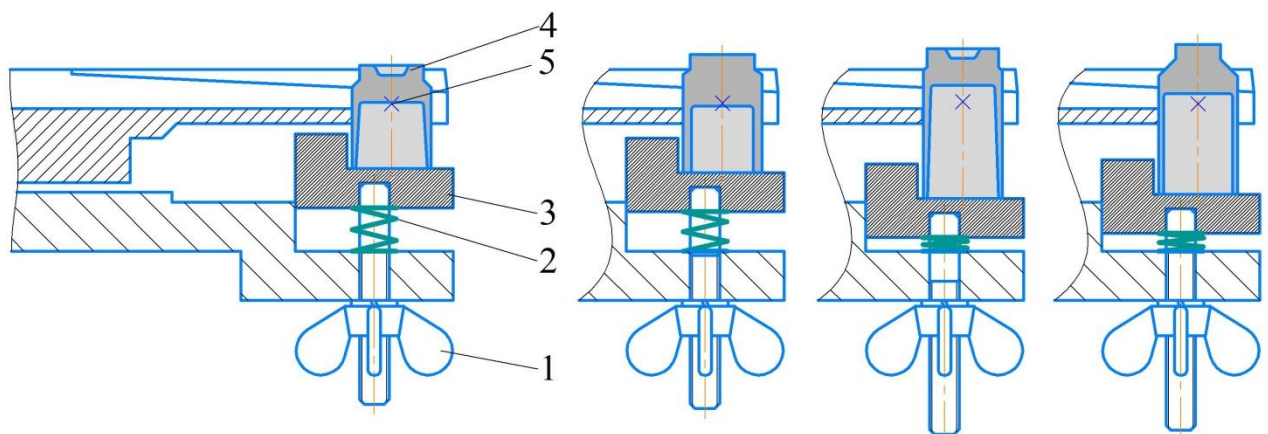
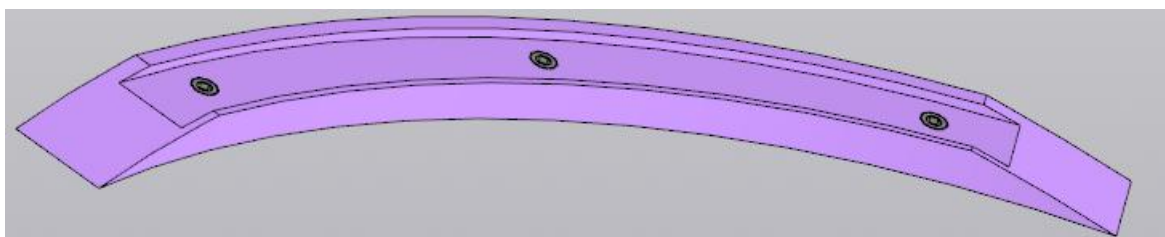


Рисунок 3.3 – Схема регулировки и высота кармана
для каждого типа асимметричных заготовок полых по торцам:

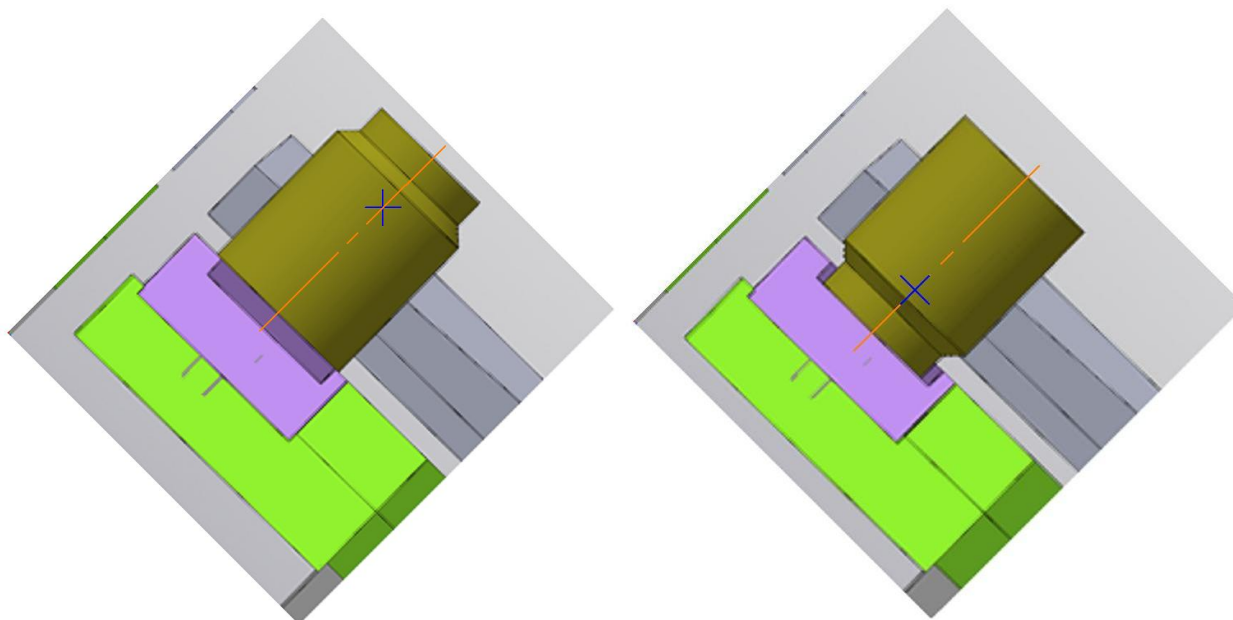
- 1 – регулировочная гайка; 2 – упругий элемент; 3 – кольцо;
4 – заготовка; 5 – центр масс заготовки

При переналадке учитывается и то, что центр масс заготовок, запавших правильным торцом в карман, должен находиться максимально низко, относительно верхней грани кармана, что способствует их полному удержанию карманом в зоне установки планки и исключает ложное переориентирование до момента их выдачи в приемник.

На верхней части кольца устанавливается планка (см. рисунок 3.2, б), представляющая собой дугу, по краям которой выполнены уклоны, а на верхней поверхности паз. Планка в совокупности с кольцевым ориентатором служат для обеспечения пассивного ориентирования неправильно запавших в карманы заготовок (наименьшим по диаметру торцом вверх), так как они опираются на боковые стенки планки, и обеспечения стабильного удержания в кармане правильно запавших полуфабрикатов, так как наименьший по диаметру торец проникает и движется по пазу планки (рисунок 3.4).



а



б

в

Рисунок 3.4 – Общий вид планки (а) и принцип ее работы при неправильном (б) правильном (в) западении в карман заготовки

На рисунке 3.5 показаны направляющие скосы между карманами на вращающемся диске типа перемычек, вершины которых расположены между радиальными пазами и карманами в форме треугольной призмы.

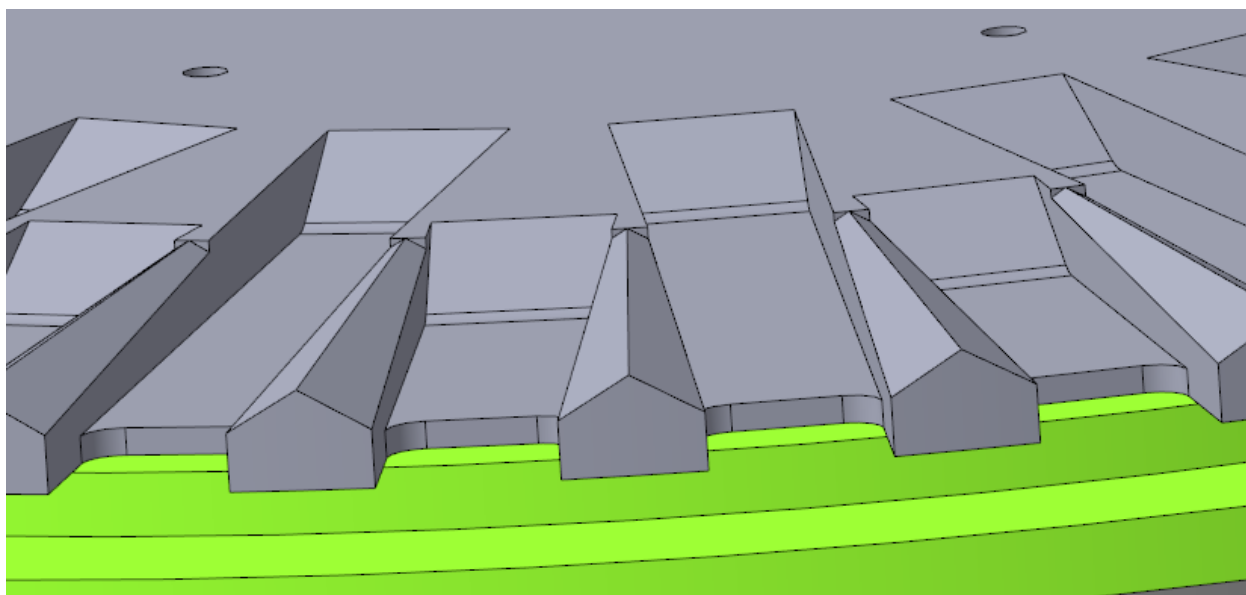


Рисунок 3.5 – Направляющие скосы на вращающемся диске
между радиальными пазами и карманами

В модернизированном БЗУ захват асимметричных полых по торцам заготовок осуществляется не только в радиальном положении, но и в тангенциальном, то есть западание в карманы БЗУ полых по торцам заготовок для увеличения вероятности захвата осуществляется по двум направлениям (рисунок 3.6):

- со стороны радиальных пазов (движение заготовки к карману в радиальном направлении или боковой поверхностью, или одним из своих торцов);
- со стороны скосов в тангенциальном направлении из своего преимущественного положения (расположившись цилиндрической поверхностью поперек скосов из-за отсутствия опоры и сильного смещения центра масс к одному из торцов, заготовки под действием силы тяжести наклоняются в одну из сторон, опрокидываются и по наклонной поверхности скользят в сторону кармана, западая в него в правильном положении) [30].

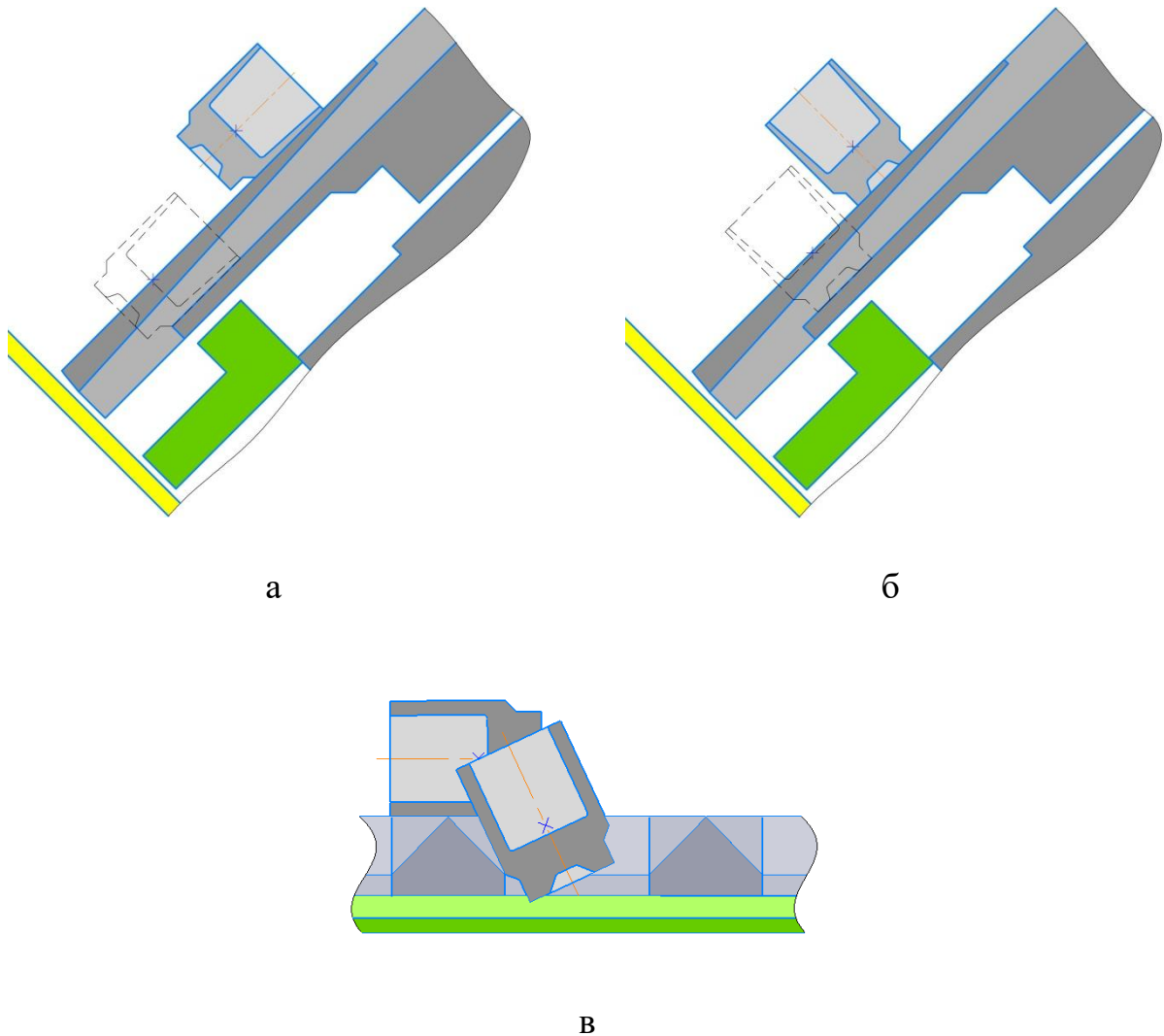


Рисунок 3.6 – Варианты западания полых по торцам заготовок в карманы:

а – в радиальном положении боковой поверхностью;

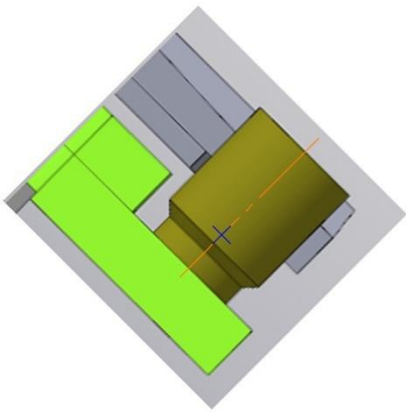
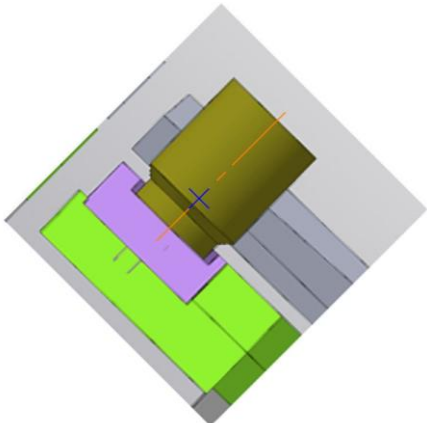
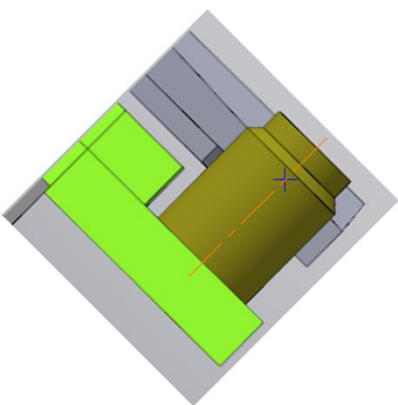
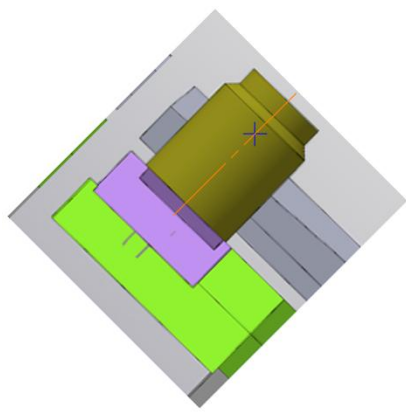
б – в радиальном положении на одном из торцов;

в – в тангенциальном положении боковой поверхностью по скосам диска

Заготовки западают в итоге в карманы в двух положениях и в этих двух положениях отправляются в зону ориентирования (таблица 3.1).

Если заготовки попали в карман большим торцом вниз, то в верхней части бункера они приподнимаются на планке, двигаясь по ее боковинам. Центр масс их при этом оказывается настолько высоко, что карман перестает удерживать заготовку, и она выпадает из карманов вниз (рисунок 3.7).

Таблица 3.1 – Расположение полых по торцам заготовок в кармане при функционировании модернизированного БЗУ

	Зона захвата	Зона ориентирования
правильное западение		
неправильное западение		

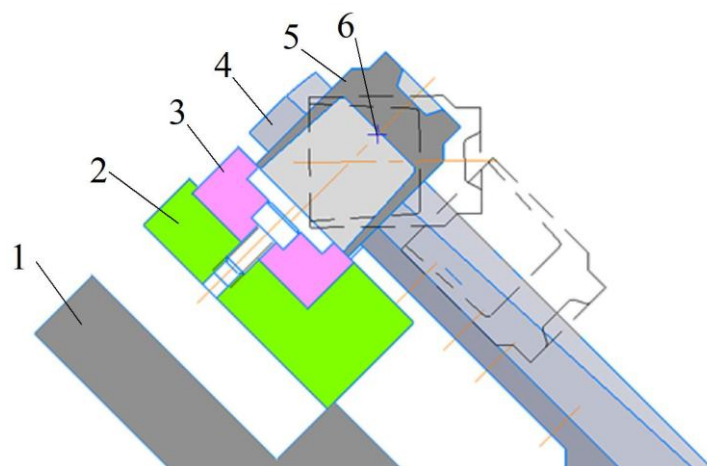


Рисунок 3.7 – Схема выпадения заготовки из кармана;

1 – основание; 2 – кольцо; 3 – планка; 4 – вращающийся диск; 5 – заготовка;
6 – центр масс заготовки

Если заготовки движутся в карманы меньшим торцом вниз, то в верхней части бункера, двигаясь к планке, они проникают в ее паз и проходят верхнюю зону бункера, не выпадая и оставаясь в кармане. Таким образом, центр масс заготовки опущен максимально низко относительно верхней грани кармана и заготовка не выпадает в бункер. Наличие паза в планке позволяет сильнее опустить центр масс, чтобы обеспечить более стабильное удержание заготовки карманом.

Затем правильно оказавшиеся в кармане заготовки направляются в зону установки собачки (рисунок 3.8). Собачка необходима для выталкивания правильно сориентированных заготовок из кармана в приемник для дальнейшей подачи в оборудование для операции над заготовками. В зоне установки собачки в обечайке бункера выполнено окно.

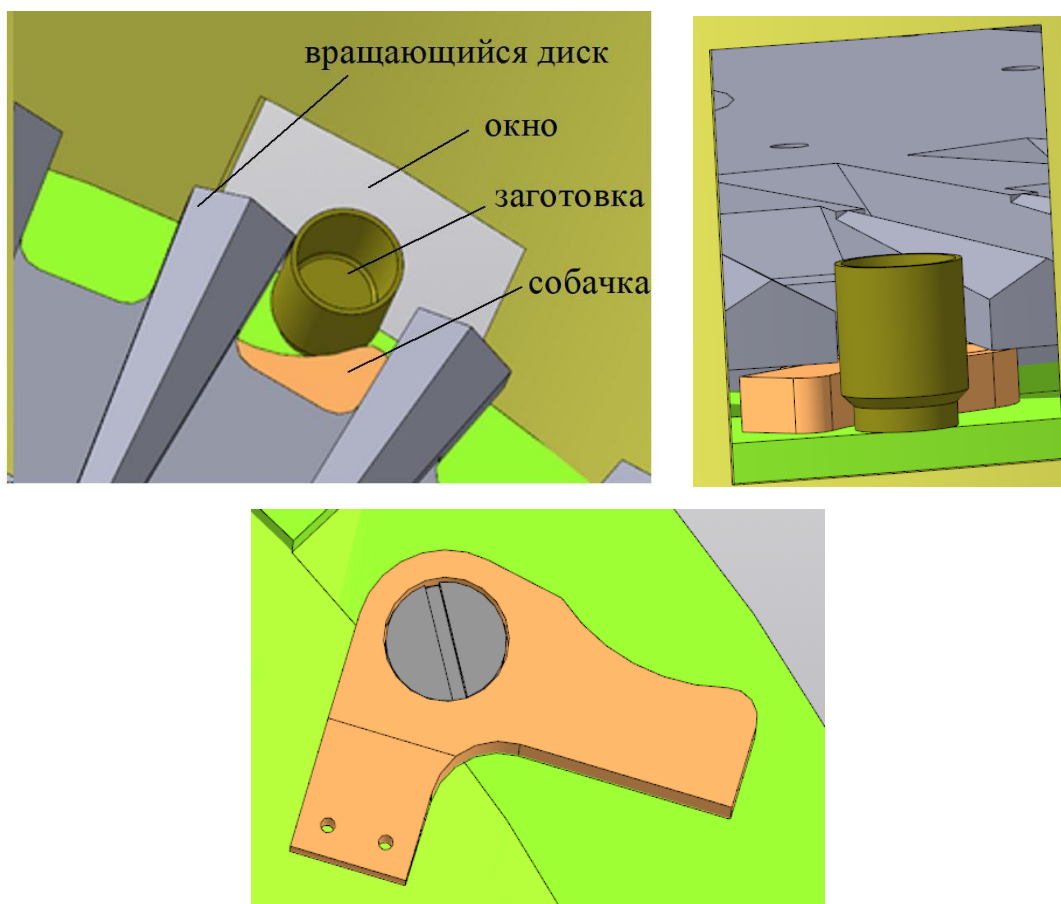


Рисунок 3.8 – Форма собачки и зона ее установки на кольцо под вращающим диском

Собачка работает следующим образом. В исходное положение собачка приводится с помощью натяжения пружины. При нормальной работе модернизированного БЗУ правильно запавшие заготовки, находясь в карманах, вращающимся диском перемещаются к собачке, упираются в нее и направляются ее боковой поверхностью в приемник через окно выгрузки, выполненное в обечайке. При переполнении лотка и других случаях, когда заготовка не может быть выгружена, собачка складывается, заготовка остается в кармане и отправляется на второй круг, после чего собачка возвращается в исходное положение натяжением пружины.

В результате, все полые по торцам заготовки оказываются в необходимой производственным процессом ориентации и выдаются из модернизированного устройства в однозначно ориентированном положении.

3.2 Условия стабильного функционирования устройства

Условия стабильного функционирования устройства базируются на разработке конструктивных ограничений в виде допустимых диапазонов и их моделированию [40, 41, 59, 80, 93, 94, 100, 128].

Полые по торцам асимметричные заготовки западают в карманы, как было указано выше (см. рисунок 3.6), находясь в радиальных пазах или со стороны скосов, располагаясь тангенциально.

В кармане для правильного захвата полый по торцам заготовка должна располагаться наименьшим диаметром внизу (см. рисунок 3.4, в). Запав в карман, такая заготовка не должна выталкиваться из кармана при вращении диска под действием других заготовок, еще не успевших занять устойчивое положение в кармане или в радиальном пазу.

В кармане неправильно запавшая заготовка располагается наибольшим диаметром внизу (см. рисунок 3.4, б). Чтобы она смогла самостоятельно удалиться из кармана, его высота должна этому способствовать.

Таким образом, высота кармана ограничена с одной стороны невозможностью выпадения из кармана правильно запавшей заготовки и, с другой стороны, возможность выпадения неправильно запавшей.

В связи с вышеизложенным, разработаем последовательно ограничения для всех параметров элементов вращающегося диска БЗУ, участвующих в процессе захвата и ориентирования.

1. Обеспечение захвата полых по торцам заготовок.

Длина радиальных пазов, осуществляющих подготовку полых по торцам заготовок к захвату (рисунок 3.9).

Радиальные пазы должны быть такой длины, чтобы в них запало как можно больше заготовок. Учитываем, что по рекомендациям радиус вращающегося диска БЗУ должен быть в диапазоне высоты (длины) заготовок $R_d \approx 5...8 h$ [13, 129].

Чтобы оптимально разместить радиальные пазы и карманы на диске, необходимо отталкиваться от длины $l_{пк}$ коротких радиальных пазов. В работе [80] было выявлено, что в бункере самую высокую производительность обеспечивает уровень засыпки бункера заготовками, равный двум длинам заготовок, то есть $2h$.

Для рассматриваемого случая при рекомендуемом угле наклона диска $\alpha_d = 45^\circ$ с целью того, чтобы на всей высоте засыпки находился радиальный паз минимальную длину радиального паза можно вычислить по формуле

$$l_{пк}^{\min} = \frac{2h}{\sin \alpha_d},$$

подставив в которую значение синуса 45° , получим: $l_{пк}^{\min} = 2,83h$.

Этим же значением ограничивается длина длинных радиальных пазов, то есть $l_{пд}^{\min} = 2,83h$. Максимальная длина $l_{пк}^{\max}$ коротких радиальных пазов конструктивно не ограничена и может быть принята равной максимальной длине $l_{пд}^{\max}$ длинных радиальных пазов.

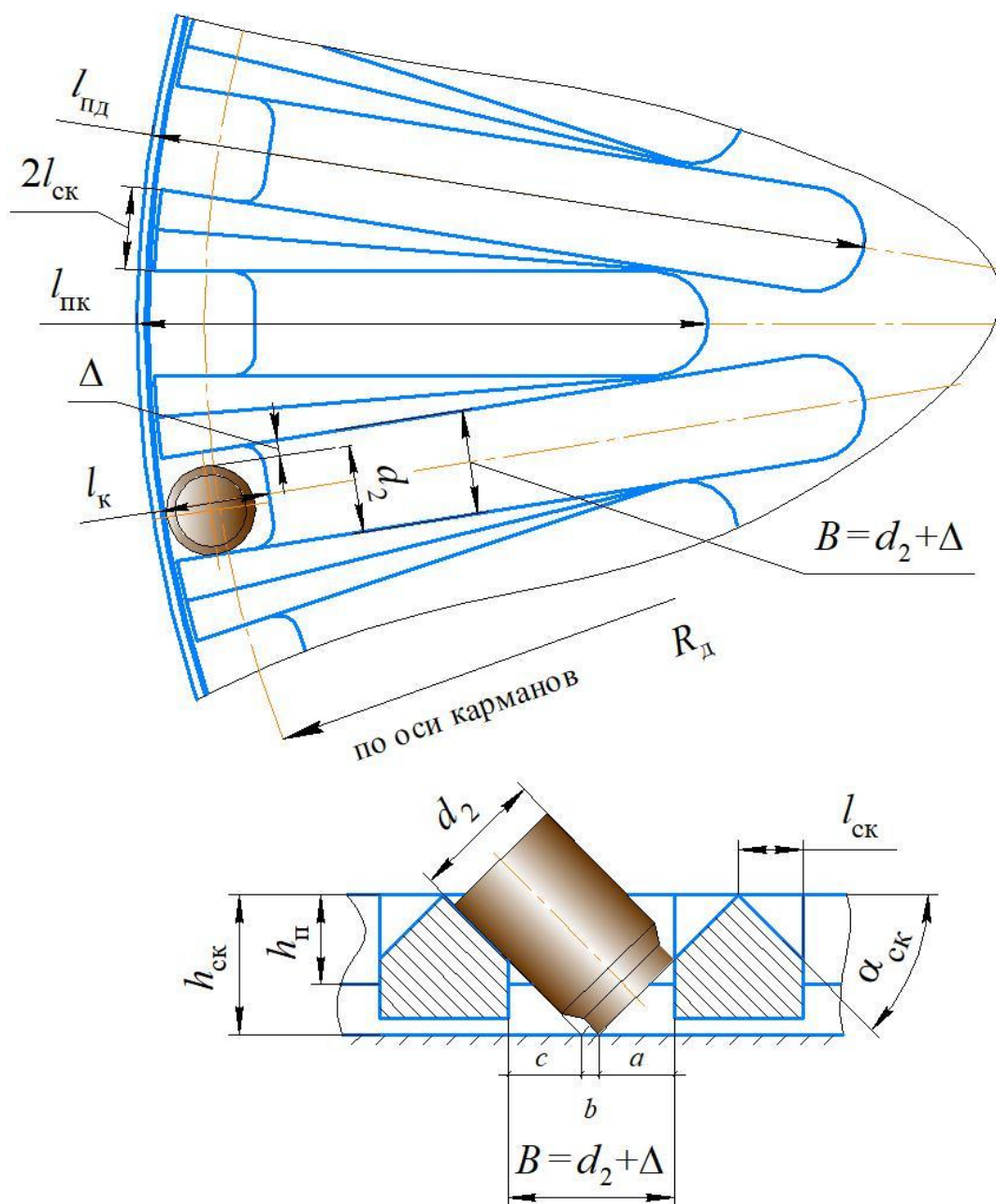


Рисунок 3.9 – Вращающийся диск с радиальными пазами, переходящими в карманы, и направляющими скосами между ними (вид сверху) и их параметры, для обеспечения захвата полых по торцам заготовок

Однако в этом случае количество пазов, которые можно разместить на диске, существенно сократится, увеличив длину $l_{ск}$ скосов, что снизит производительность БЗУ. Приняв, что от центра диска до начала радиальных пазов расстояние равно примерно двум высотам заготовок (для обеспечения крепежа

диска), то теоретически длина радиальных пазов может составлять

$$l_{\text{пд}}^{\text{max}} = R_{\text{д}} - (2...3)h.$$

Так как ширина радиальных пазов (карманов) B , то максимально на диске в зоне крепежа на расстоянии $(2...3)h$ от центра диска можно разместить

$$k = \frac{(4...6)\pi h}{B} \text{ длинных радиальных пазов длиной } l_{\text{пд}}^{\text{max}} = R_{\text{д}} - (2...3)h \text{ и столько}$$

же k коротких радиальных пазов.

Так как ширина и длинных, и коротких радиальных пазов одинаковая, то максимальная длина коротких радиальных пазов, при условии их размещения между каждой парой длинных радиальных пазов, будет вычисляться из следующих соображений.

Максимально возможная длина коротких пазов должна определяться в том месте диска, где общее число радиальных пазов будет $2k$, то есть

$$\frac{(8...12)\pi h}{B}. \text{ Выполнив вычисления, а затем преобразования, получим}$$

$$l_{\text{пк}}^{\text{max}} = R_{\text{д}} - (4...6)h.$$

Таким образом, получим предельные диапазоны параметров коротких и длинных радиальных пазов, а также их максимальное суммарное количество, в зависимости от наибольшего диаметра заготовки, ширины кармана и радиуса диска:

$$R_{\text{д}} - (4...6)h \geq l_{\text{пк}} \geq 2,83h; \quad (3.1)$$

$$R_{\text{д}} - (2...3)h \geq l_{\text{пд}} \geq 2,83h; \quad (3.2)$$

$$k_{\text{max}} = \frac{(8...12)\pi h}{B} = \frac{(8...12)\pi h}{d_2 + \Delta}. \quad (3.3)$$

Высоту радиальных пазов обуславливает такое нахождение заготовки в нем, при котором заготовку при вращении диска и ворошении с навалом других заготовок ничего не вытолкнет из него. Таким образом,

$$h_{\text{п}}^{\text{min}} = 0,5d_2. \quad (3.4)$$

Общая длина скосов $2l_{\text{ск}}$ определяется радиусом $R_{\text{д}}$ диска в зоне центра карманов (см. рисунок 3.9). Чем длиннее радиус, тем шире скосы. Так как шаг органов захвата $t = 2l_{\text{ск}} + B$, то при максимально возможном числе радиальных пазов с карманами получим оптимальный радиус диска по оси карманов

$$R_{\text{д}} = \frac{(8...12)\pi h}{d_2 + \Delta} \cdot \frac{2l_{\text{ск}} + B}{2\pi} = \frac{(4...6)h(2l_{\text{ск}} + B)}{d_2 + \Delta}. \quad (3.5)$$

Например, принимая $l_{\text{ск}} = 0,5d_2$, шаг органов захвата $t = 2d_2 + \Delta$, тогда при максимально возможном числе радиальных пазов с карманами получим по аналогии с общим случаем:

$$R_{\text{д}} = \frac{(4...6)h(2d_2 + \Delta)}{d_2 + \Delta}.$$

При конструировании БЗУ может потребоваться решение обратной задачи. Например, известен или конструктивно ограничен радиус диска $R_{\text{д}}$ по оси карманов. Зная радиус и принимая минимально допустимую длину скосов $2l_{\text{ск}} = d_2$, определим

$$k_{\text{max}} = \frac{2\pi R_{\text{д}}}{d_2 + \Delta + 2l_{\text{ск}}} = \frac{2\pi R_{\text{д}}}{2d_2 + \Delta}. \quad (3.6)$$

Диапазоны допустимых значений длин радиальных пазов выбираются по диапазонам (3.1) и (3.2).

Ширина B кармана определяется наибольшим диаметром d_2 полый по торцам заготовки и зазором Δ по шагу. Очевидно, что при более высоких зазорах вероятность запасть в карман для заготовки выше. Поэтому первым ограничением максимальной его величины является недопустимость западания второй заготовки в радиальный паз. Учитывая, что рассматриваемые полые по торцам заготовки имеют торцы разных диаметров, то ограничивающим торцом выступает наименьший по диаметру торец, поэтому теоретически $\Delta < d_1$. Но, чем больше Δ , тем число k_{max} будет существенно ниже и, тем самым, снизит производительность БЗУ.

Наиболее целесообразно данный параметр Δ исследовать на этапе построения математических моделей вероятности захвата и производительности, чтобы оценить его влияние. И на основе визуализации построенных моделей в компьютерной программе принять решение о его величине, стремясь к увеличению производительности путем уменьшения шага органов захвата, если это существенно не отразится на западании заготовок в карман при определении вероятностей p_i и p_v .

Основной задачей скоса является его направляющее действие – заготовку в карман. Поэтому угол скоса $\alpha_{\text{СК}}$ определяется с помощью расчетной схемы (см. рисунок 3.9) и зависит от ширины B кармана.

Для того чтобы получить выражения для определения его максимального значения (когда он выполняет функции направления заготовки в карман) составим выражения, выразив длины a , b и c через параметры заготовок, скосов и кармана:

$$\begin{aligned} a &= d_1 \sin \alpha_{\text{СК}}; \\ b &= \frac{d_2 - d_1}{2 \sin \alpha_{\text{СК}}}; \\ c &= h_{\text{СК}} - l_{\text{СК}} \tan \alpha_{\text{СК}}. \end{aligned}$$

Тогда с учетом того, что $B = a + b + c$, получим уравнение с одним неизвестным $\alpha_{\text{СК}}$:

$$d_1 \sin \alpha_{\text{СК}} + \frac{d_2 - d_1}{2 \sin \alpha_{\text{СК}}} + h_{\text{СК}} - l_{\text{СК}} \tan \alpha_{\text{СК}} - d_2 - \Delta = 0. \quad (3.7)$$

Решить полученное выражение можно в программе *MathCAD*, используя встроенные в нее операторы *Given* и *Find*. При решении величину Δ использовать ту, которая при теоретических исследованиях моделей покажет наибольшее значение вероятности захвата.

Карман в связи с захватом заготовок в положении стоя конструируем на виде сверху равноразмерным, то есть его длина будет равна ширине:

$$l_{\text{к}} = B = d_2 + \Delta, \quad (3.8)$$

или превышающим ширину кармана на $(0,1 \dots 0,2)\Delta$.

2. Обеспечение ориентирования полых по торцам заготовок.

Для стабильного и надежного ориентирования должны быть правильно сконструированы следующие элементы модернизированного БЗУ, осуществляющие данный процесс: высота кармана, который образован кольцом в нижней части бункера, и размеры устанавливаемой в верхней части БЗУ на кольце планки, уменьшающей высоту кармана до допустимой величины по захвату высоты $h_{\text{к}}^{\min}$, и высоты $h_{\text{к}}^{\max}$, способствующей выпадению из кармана не так сориентированных заготовок (рисунок 3.10).

Таким образом, для обеспечения правильного ориентирования высота кармана должна строго определяться диапазоном:

$$h_{\text{к}}^{\min} \leq h_{\text{к}} \leq h_{\text{к}}^{\max},$$

то есть для правильно захваченной заготовки ограничением выступает величина $h_{\text{к}}^{\min}$, а для не правильно захваченной – величина $h_{\text{к}}^{\max}$.

Чтобы получить выражения для $h_{\text{к}}^{\min}$ и $h_{\text{к}}^{\max}$, воспользуемся расчетной схемой ограничений (рисунок 3.11).

За счет регулировки параметр h_3 (величина зазора между основанием планки и карманом) может меняться, так как диск может подниматься или опускаться. Необходимо определить, а при эксплуатации и установить, диапазоны его регулировки для каждой конкретной заготовки (при этом высота паза и толщина самого диска будут постоянны, меняется только зазор h_3 между диском и основанием планки; на рисунке 3.11 разной толщиной диск и его радиальные пазы показаны лишь условно).

Высоту кармана для правильно захваченной заготовки образуют паз планки, высотой $h_{\text{пп}}$, зазор h_3 между основанием планки и карманом и высота $h_{\text{н}}$ нижней части диска от его основания до крайней точки А, то есть до начала радиального паза (см. рисунок 3.11, а). Таким образом, чтобы удержать такую заготовку нужно определить параметр $h_{\text{к}}^{\min} = h_{\text{пп}} + h_3 + h_{\text{н}}$.

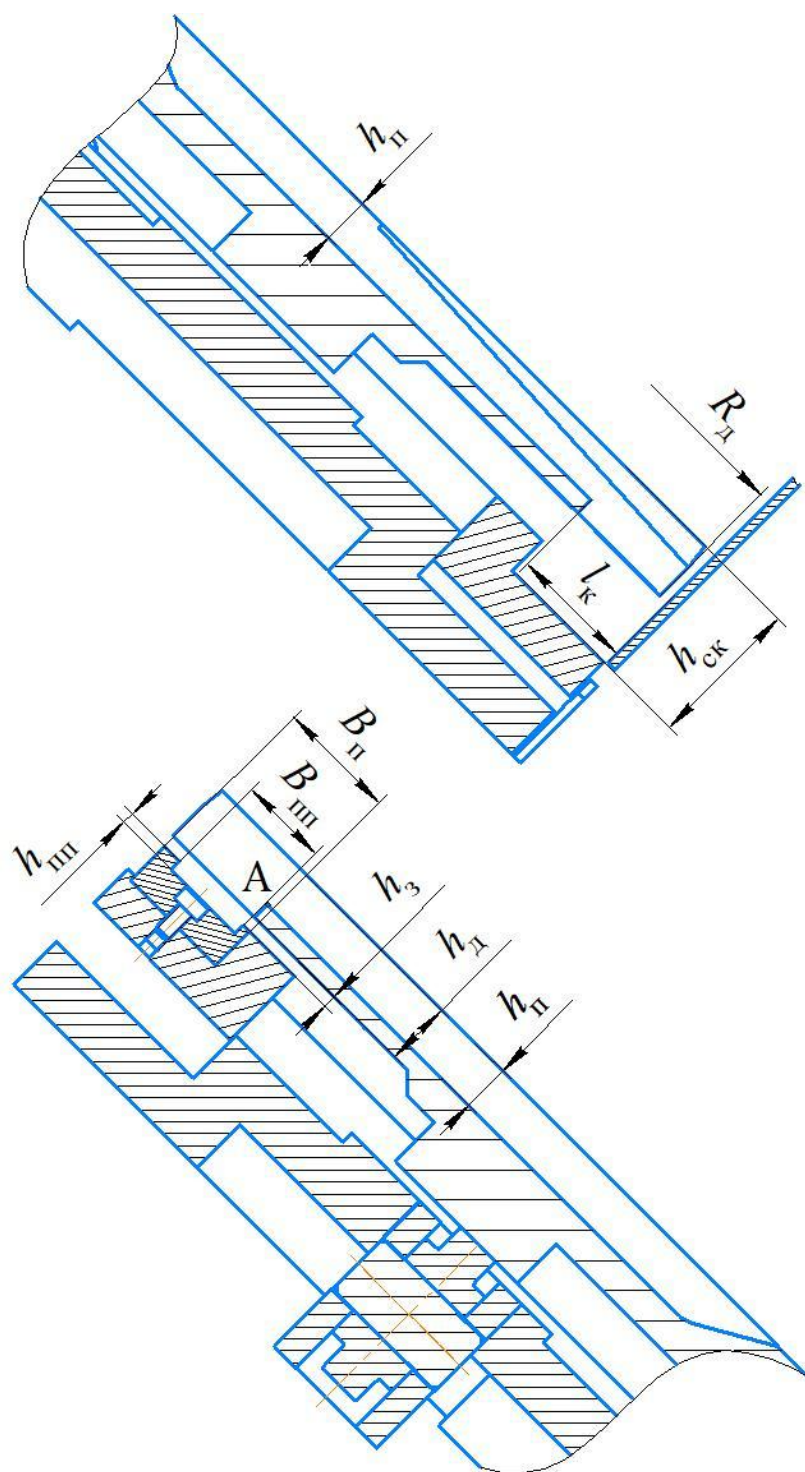


Рисунок 3.10 – Вращающийся диск в нижней и верхней части с карманами и установленным на основании кольцом, в котором в верхней части размещается планка, и их параметры, для обеспечения ориентирования полых по торцам заготовок

Высоту кармана не правильно захваченной заготовки образуют зазор h_3 и высота h_H (см. рисунок 3.11, б). Таким образом, чтобы удерживать такую заготовку нужно определить параметр

$$h_K^{\max} = h_3 + h_H.$$

Таким образом, высота кармана для захвата за счет паза в планке выше, чем по ориентированию.

Определим данные параметры через геометрию полых по торцам заготовок с использованием рисунка 3.11 в верхней точке диска (вертикаль), как самые граничные условия, то есть $h_K^{\max} > h_K > h_K^{\min}$. Тогда условием стабильного ориентирования станет диапазон:

$$h - x_c - 0,5d_2 \operatorname{ctg} \alpha_D > h_K > x_c - 0,5d_2 \operatorname{ctg} \alpha_D, \quad (3.9).$$

то есть при проектировании модернизированного БЗУ для нескольких полых по торцам заготовок необходимо решать это комплексно.

Ширина планки B_{Π} , устанавливаемой на кольцо, с одной стороны ее величина должна быть меньше или равна длине l_K кармана, но с другой стороны больше диаметра наибольшего торца, то есть:

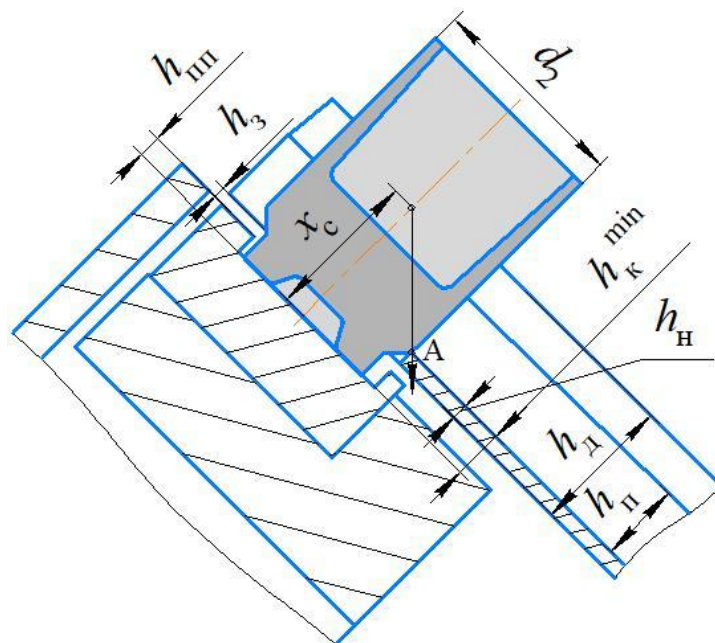
$$l_K \geq B_{\Pi} > d_2. \quad (3.10)$$

Выполненный на поверхности, обращенной карману, паз планки имеет ширину $B_{\Pi\Pi}$. Так как ее функция заключается в том, чтобы в нее вошел меньший по диаметру торец, тем самым увеличивая для правильной заготовки высоту кармана и создавая более лучшие условия для того, чтобы она осталась в кармане, то ее ширина ограничена с одной стороны диаметром наименьшего торца, а ее максимальная величина должна быть меньше диаметра наибольшего торца, то есть

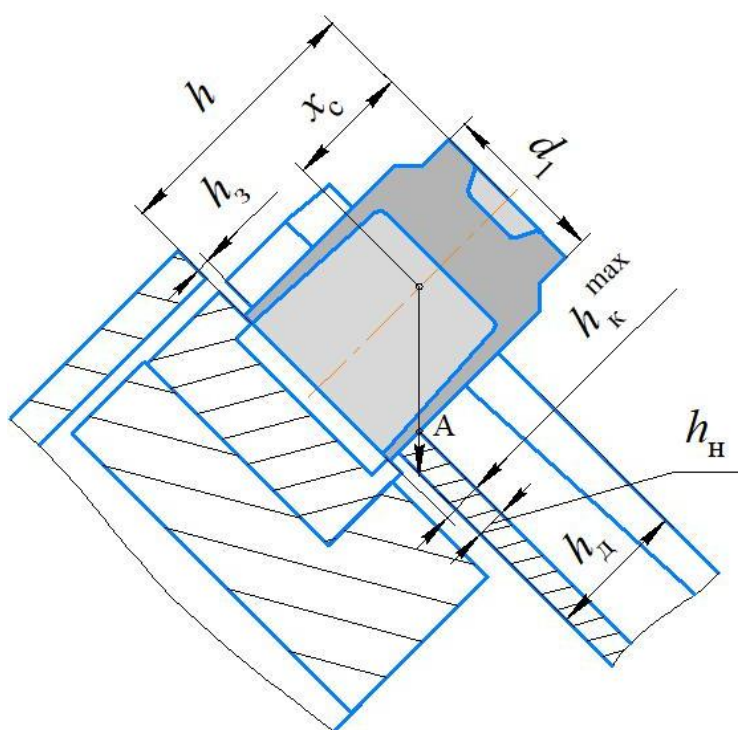
$$d_2 > B_{\Pi\Pi} > d_1. \quad (3.11)$$

Высота паза планки не должна превышать высоту меньшего по диаметру торца для исключения заклиниваний, то есть:

$$h_{\Pi\Pi} < h_1. \quad (3.12)$$



а



б

Рисунок 3.11 – Обеспечение правильной работы модернизированного БЗУ по ориентированию для полый по торцам заготовки:
а – захваченной правильно; б – захваченной неправильно

Соблюдение всех условий и рекомендаций, представленных выражениями (3.1) – (3.12), позволит в модернизированном БЗУ выдавать к технологическому оборудованию только правильно сориентированные полые по торцам заготовки. Чтобы их количество было максимальным необходимо теоретически разработать модели вероятности захвата и производительности, что приведено в следующем разделе диссертации.

3.3 Разработка математических моделей вероятности захвата и производительности

Модернизированное БЗУ обеспечивает предварительную подготовку к захвату полых по торцам заготовок с помощью радиальных пазов. Радиальные карманы захватывают заготовки в положении стоя; при этом в таком положении заготовка может оказаться или сразу упав на дно бункера одним из своих торцов, или двигаясь по радиальному пазу своей боковой поверхностью, опрокинуться в карман одним из своих торцов. Правильным будет считаться захват заготовок карманом в положении стоя, торцом с наименьшим диаметром (более тяжелый торец), в противном случае заготовка самопроизвольно выпадет из кармана.

С учетом изложенного разработаем математическую модель производительности модернизированного БЗУ для полых по торцам заготовок:

$$\Pi = \frac{60v}{t} p_i p_c \left(1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4} \right).$$

1 Вероятность p_i , учитывающая благоприятные положения заготовок для их захвата на дне бункера.

В главе 2 для полых по торцам заготовок (см. рисунок 2.1) при захвате радиальными карманами в положении стоя и пассивном их ориентировании было получено следующее:

- выражения для описания вероятностей падения заготовок наименьшим по диаметру торцом вероятностью $p_1 = p_I + p_{IV}$, наибольшим по диаметру торцом вероятностью $p_2 = p_{II}$, боковой поверхностью $p_3 = p_{III} + p_V$. через вероятности $p_I, p_{II}, p_{III}, p_{IV}, p_V$, описываемые углами $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}, \delta_{IV}, \delta_V$ соответственно:

- вероятность p_I и угол δ_I – см. выражения (2.6) и (2.2);
- вероятность p_{II} и угол δ_{II} – см. выражения (2.6) и (2.2);
- вероятность p_{III} и угол δ_{III} – см. выражения (2.10) и (2.5);
- вероятность p_{IV} и угол δ_{IV} – выражения (2.7) и (2.3);
- вероятность p_V и угол δ_V – выражения (2.10) и (2.4).

Влияние полостей у заготовки по торцам оценивается в модели производительности через координату центра масс x_c . Выше представлен рисунок 2.2, разбивающий каждый тип заготовки на совокупность простых фигур для определения их объемом и центра масс (плотность всех частей заготовки одинаковая из-за их однородности) и выражения для определения:

- координата центра масс x_c заготовки типа I – см. выражение (2.11);
- координата центра масс x_c заготовки типа II – см. выражение (2.12);
- координата центра масс x_c заготовки типа – см. выражение (2.13);
- координата центра масс x_c заготовки типа – см. выражение (2.14).

В связи с не равномерным распределением заготовок в наклоненном под углом α_d бункере вероятность p_i представляется максимальным $p_{i \max}$ (заготовки в бункере размещаются одним слоем – самая верхняя точка бункера в зоне $\phi_{\text{захв}}$ захвата), и минимальным $p_{i \min}$ (заготовки в бункере размещаются несколькими слоями – самая нижняя точка бункера – центр зоны $\phi_{\text{захв}}$ захвата) значениями. Данные вероятности определяются способом захвата заготовок в модернизированном устройстве и их дальнейшим способом ориентирования.

Для модернизированного устройства и рассматриваемых полых по торцам заготовок используем полученные в главе выражения 2 для варианта «1 За-

хват радиальными карманами на вращающемся диске. В положении стоя. Пассивное ориентирование» (см. рисунок 2.1 и рисунок 2.3).

- вероятность $p_{i\max}$ – см. выражение (2.15);
- вероятность $p_{i\min}$ – см. выражение (2.16);
- вероятность p_i – см. выражение (2.25).

2 Вероятность p_c , учитывающая влияние сцепляемости заготовок на захват. Для математического описания данной вероятности p_c в нескольких работах были рассмотрены различные выражения.

Для изделий, выполненных из одного материала, имеющих одинаковый коэффициент трения между всеми поверхностями μ_0 , известно два выражения для описания сцепляемости:

- упрощенное выражение для цилиндрических валиков (стержневые заготовки, без полостей по торцам) длиной l и диаметром d [85]:

$$p_c = 1 - \frac{\arctan \mu_0}{\pi} \cdot \frac{0,9 + 1,4 \cdot \frac{l}{d}}{1 + 2 \cdot \frac{l}{d}},$$

- выражение, в котором в качестве показателей сцепляемости приняты величины, которые характеризуют относительные линейные перемещения и повороты прилегающих друг к другу заготовок:

$$p_c = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 2zF} \sum_{i=1}^s \left((F_i + F_j) \cdot \sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} \right), \quad (3.13)$$

где s – количество всех сочетаний поверхностей заготовки; ξ_{xi}, ξ_{yi} – наибольшие углы поворота двух прилегающих поверхностей заготовок без разъединения; F_i и F_j – площади прилегающих поверхностей заготовок при каждом сочетании; z, F – число и площадь всех поверхностей заготовки [27, 96].

При этом углы

$$\xi_{xi} = \arctan(\mu_x), \quad \xi_{yi} = \arctan(\mu_y),$$

зависят от коэффициентов трения μ_x и μ_y для каждой пары поверхностей заготовок при движении по осям x и y соответственно при каждом случае соприкосновения. В зависимости от типов сопрягающихся поверхностей получено:

$$- \sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} = \arctan \mu_0 \sqrt{2}, \text{ если сопрягающиеся поверхности плоские;}$$

$$- \sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} = \arctan \mu_0, \text{ если одна из сопрягающихся поверхностей плоская, а другая имеет форму тел вращения (конус, сфера, цилиндр);}$$

кая, а другая имеет форму тел вращения (конус, сфера, цилиндр);

$$- \sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2} = 0, \text{ если обе сопрягающиеся поверхности имеют форму тел}$$

вращения.

Анализ полученных по этим двум выражениям значений p_c для некоторых видов заготовок показал, что они близки по численному значению, различаясь друг от друга не величиной, не превышающую несколько процентов. Тем не менее, есть заготовки (например, цилиндрические ступенчатые), для которых значения вероятностей p_c будут отличаться (рисунок 3.12).

Как видно из графиков, значение вероятности, полученное по этим двум выражениям, отличается на 3...7%, поэтому для более точной оценки производительности заготовок сложной формы целесообразно пользоваться выражением с относительными линейными перемещениями и поворотами, позволяющим в полной мере оценить данную вероятность p_c .

В работе [91] рассмотрены различные варианты расчета вероятности отсутствия помех при захвате деталей от их взаимосцепляемости, предложено учитывать при расчете указанной вероятности коэффициент трения каждой поверхности детали по отдельности, приведен пример такого расчета для упорных элементов в виде ступенчатых трехсоставных колпачков, используемых в пищевой и химических отраслях промышленности для укупорки бутылок с жидкостями различных видов. Позже предложено было [126] данный подход применить для многокомпонентных изделий в различных отраслях, в том числе отраслях специального машиностроения.

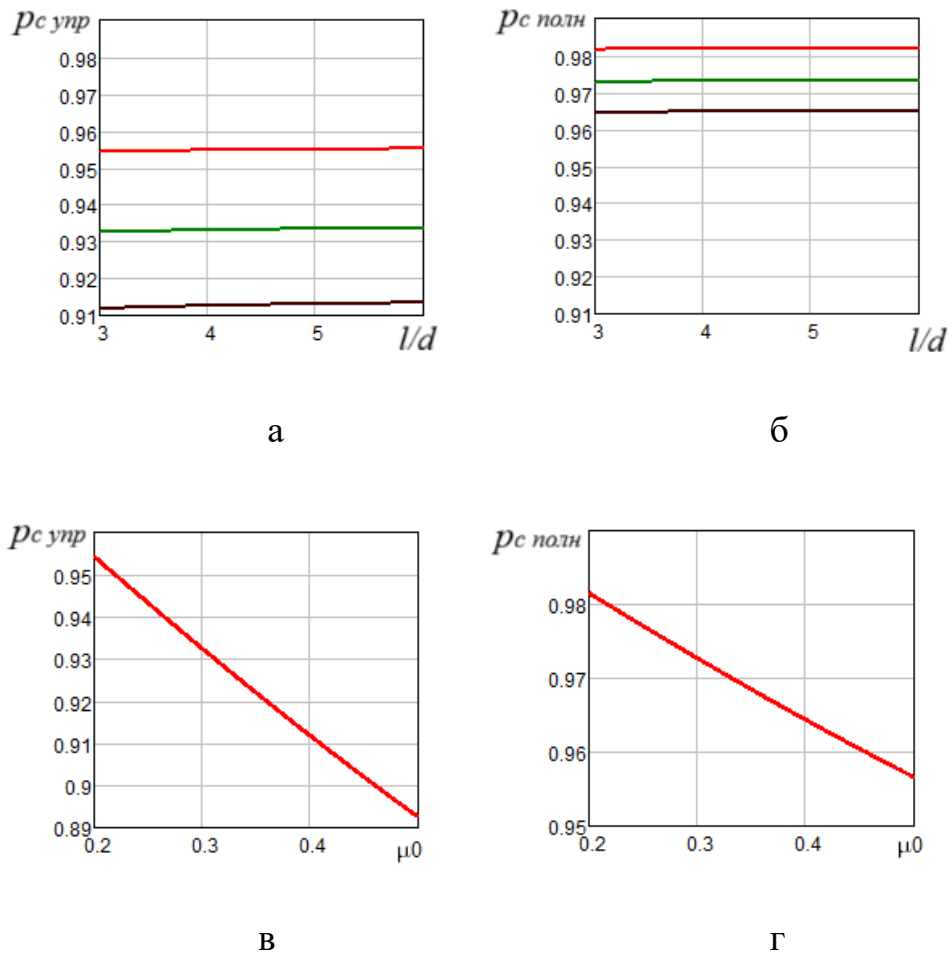


Рисунок 3.12 – Сравнительный анализ для стержневой ступенчатой цилиндрической заготовки значений вероятности p_c , полученных по упрощенному (а, в) и полному (б, г) выражениям в зависимости от соотношения l/d (а, б) и коэффициента трения μ_0 (в, г)

Все представленные формулы предназначены для заготовок, которые не взаимосцепляются друг с другом при вхождении одного торца в другой. Для заготовок, которые могут взаимосцепляться друг с другом, то есть входить одним торцом в другой торец, оценка вероятности p_c дополнительно включает анализ взаимосцепляемости торцов заготовок при определении угла отрыва заготовок друг от друга, при котором начнется их разъединение. Тогда множитель

$\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$ в выражении p_c для поверхностей заготовок, которые могут войти друг в друга, например своими торцами, должен описываться иначе или определяться экспериментально для каждого сцепления.

Общее выражение вероятности p_c (3.13) преобразуем в зависимости от типа и сцепляемости / не сцепляемости заготовок.

В качестве примера рассмотрим заготовки с одной полостью на большем по диаметру торце.

Все заготовки, имеющие полости с одной стороны, имеют по шесть поверхностей (нижняя поверхность полости не контактирует ни с одной поверхностью заготовки, так как глубина полости не позволяет обеспечить контакт), то есть $s = 36$.

Отличие заготовок по наружной поверхности типов I (рассматриваем без полости в наименьшем по диаметру торце) и II с типами III и IV заключается только в поверхности перехода одного цилиндрического торца в другой.

Сумма всех площадей запишется в виде $F = F_I + F_{II} + \dots + F_{VI}$ ($z = 6$).

Тогда у заготовок типов I и II площади каждой поверхности суммарно запишем:

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} + \left(\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_2^{02}}{4} \right) + \pi d_2 h_2 + \pi \left(\frac{d_2}{2} - \frac{d_1}{2} \right) (h - h_1 - h_2) + \pi d_1 h_1 + \pi d_2^0 h_2^0, \quad (3.14)$$

а у заготовок типов III и IV

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi d_1^2}{4} + \left(\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_2^{02}}{4} \right) + \left(\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right) + \pi d_2 h_2 + \pi d_1 h_1 + \pi d_2^0 h_2^0 = \\ &= 0,5\pi d_2^2 - 0,25\pi d_2^{02} + \pi d_2 h_2 + \pi d_1 h_1 + \pi d_2^0 h_2^0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

При сцеплении заготовок для сцепляющихся типов контакт происходит у боковой поверхности внутренней полости VI в торце наибольшего диаметра с боковой поверхностью V наименьшего по диаметру торца и боковой поверхностью IV перехода цилиндрических торцов друг в друга.

На рисунке 3.13 на примере не сцепляющихся заготовок с коническим переходом цилиндрических торцов показаны условные сочетания не сцепляемых поверхностей, то есть 25 из 36 возможных.

В случае сцепляемости заготовок, а именно наличие внутренней полости для сцепления с другими поверхностями заготовки получим следующее.

С внутренней поверхностью большего по диаметру торца – поверхностью VI – могут сочетаться не все поверхности заготовки, поэтому при наличии у заготовки шести поверхностей их возможных сочетаний будет не 36, а именно из 11 дополнительных к 25 сочетаниям исключаются 7 сочетаний: VI-I (сочетание 26), VI-II (сочетание 27), VI-III (сочетание 28), VI-VI (сочетание 31), I-VI (сочетание 32), II-VI (сочетание 33), III-VI (сочетание 34). А так как осуществляется прохождение одной заготовки в другую в области паза, то из прежних 25 сочетаний исключаются сочетания I-II (сочетание 2) и II-I (сочетание 6).

Таким образом, добавляются сочетания:

- VI-IV (сочетание 29),
- VI-V (сочетание 30),
- IV-VI (сочетание 35),
- V-VI (сочетание 36).

На рисунке 3.14 показаны дополнительные варианты сцепляемости заготовок по двум поверхностям – сочетания VI-IV и VI-V. Сочетания IV-VI и V-VI получены аналогично, перевернув заготовки (на рисунке не показаны).

Каждому из сочетаний соответствует пара площадей сочетаемых поверхностей (например, сочетанию 1 – $F_I + F_I$, сочетанию 2 – $F_I + F_{II}$ и т.д.), сумма которых умножается на собственное им выражение $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$, описывающие влияние углов ξ_{xi} и ξ_{yi} в зависимости от коэффициента трения μ_0 между поверхностями заготовок, и угла $\alpha_{сц}$, при котором сцепляющиеся заготовки начнут разъединяться, внесены в зависимости от типа заготовки в таблицы 3.2 для не сцепляющихся заготовок и в таблицу 3.3 для сцепляющихся заготовок.

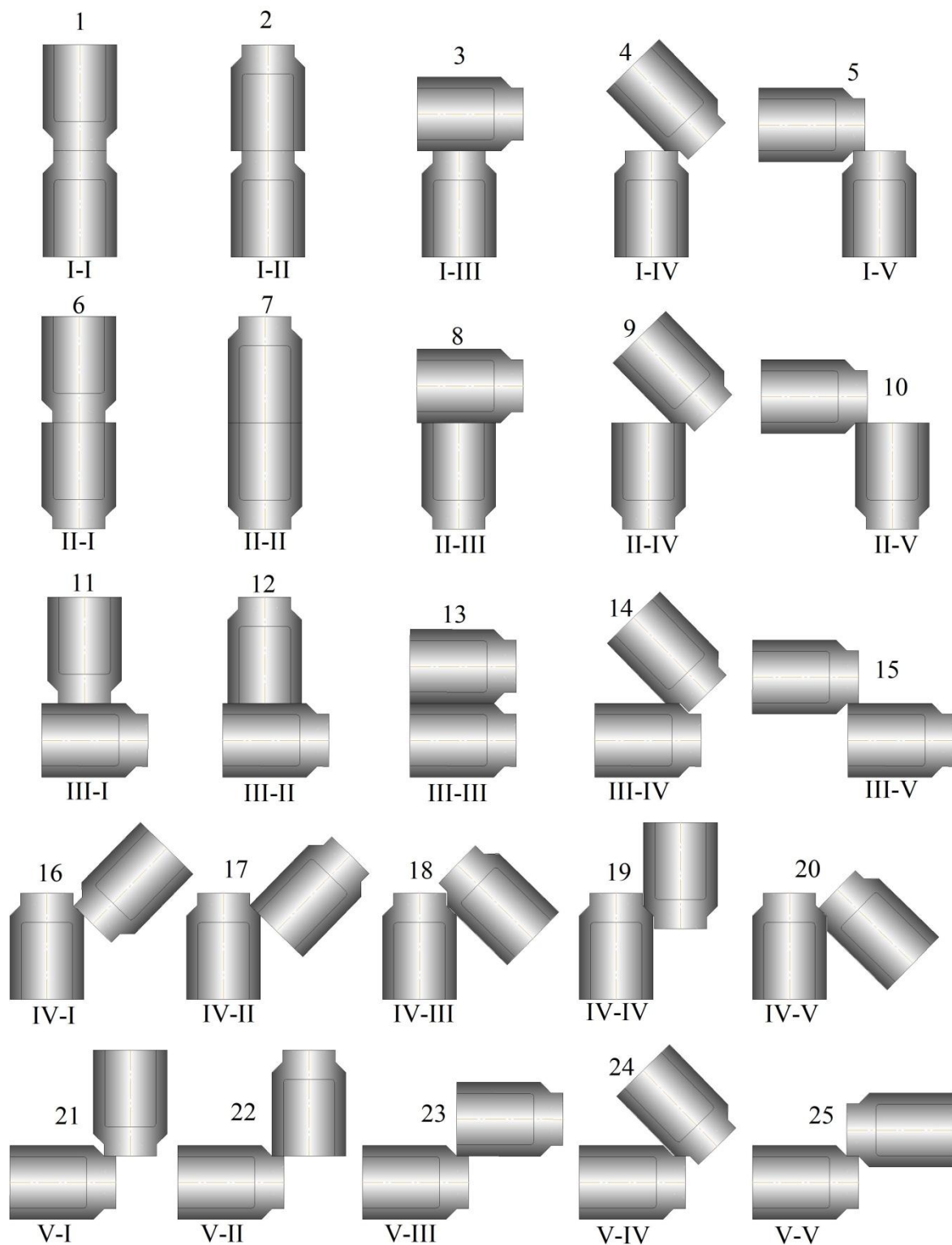


Рисунок 3.13 – Условные сочетания всех поверхностей
на примере не сцепляющихся заготовок
с коническим переходом цилиндрических торцов с одной полостью

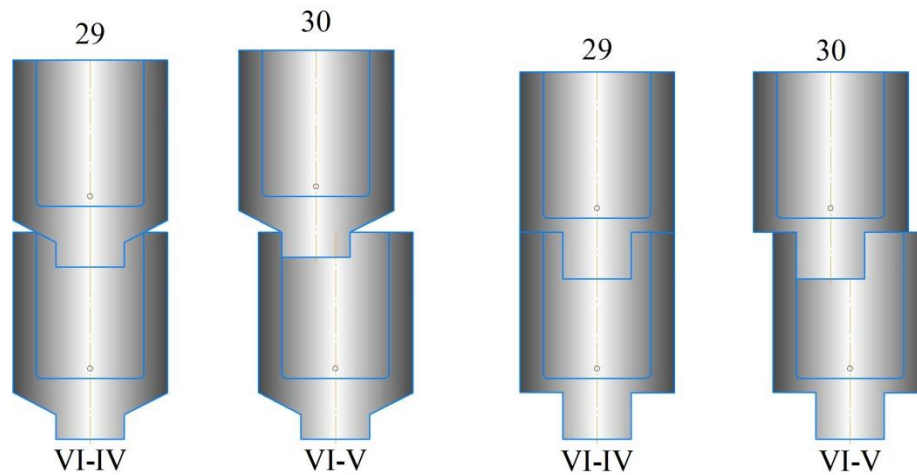


Рисунок 3.14 – Дополнительные варианты сочетаний поверхностей
на примере сцепляющихся заготовок
с коническим и ступенчатым переходом цилиндрических торцов

Таблица 3.2 – Выражения, описывающие $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$ в формуле p_c

и каждого из сочетаний для каждого типа не сцепляющихся заготовок

Тип	Номер сочетания и полученное выражение												
II не сц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\sqrt{2}A$	$\sqrt{2}A$	A	A	A	$\sqrt{2}A$	$\sqrt{2}A$	A	A	A	A	A	A
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
IV не сц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\sqrt{2}A$	$\sqrt{2}A$	A	$\sqrt{2}A$	A	$\sqrt{2}A$	$\sqrt{2}A$	A	$\sqrt{2}A$	A	A	A	A
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	A	A	$\sqrt{2}A$	$\sqrt{2}A$	A	$\sqrt{2}A$	A	A	A	A	A	A	

Таблица 3.3 – Выражения, описывающие $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$ в формуле p_c

и каждого из сочетаний для каждого типа сцепляющихся заготовок

Тип	Номер сочетания и полученное выражение											
I сц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$\sqrt{2}A$	-	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	A	-	-	-	$\sqrt{2}A_1$	$\sqrt{2}A_1$	-	-	-	-	$\sqrt{2}A_1$	$\sqrt{2}A_1$
III сц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$\sqrt{2}A$	-	A	$\sqrt{2}A$	A	-	A	A	$\sqrt{2}A$	A	A	A
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	A	A	A	$\sqrt{2}A$	$\sqrt{2}A$	A	$\sqrt{2}A$	A	A	A	A	A
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	A	-	-	-	$\sqrt{2}A_1$	$\sqrt{2}A_1$	-	-	-	-	$\sqrt{2}A_1$	$\sqrt{2}A_1$

В таблицах 3.2 и 3.3 для сокращения места и лучшей наглядности введены обозначения

$$A = \arctan(\mu_0), \quad A_1 = \arctan(\alpha_{сц}),$$

а также выделены двойным контуром те сочетания, которые отличают сцепляемые заготовки от не сцепляемых.

После анализа всех возможных сочетаний и преобразования получим выражения:

- для сцепляющихся заготовок типа I:

$$p_c = 1 - \frac{\left[\sqrt{2}A(2F_I + 2F_{II}) + \sqrt{2}A_1(2F_{IV} + 2F_V + 4F_{VI}) + A(6F_I + 6F_{II} + 10F_{III} + 10F_{IV} + 10F_V) \right]}{2\sqrt{2} \cdot 6\pi \cdot [F_I + F_{II} + F_{III} + F_{IV} + F_V + F_{VI}]}; \quad (316)$$

- для не сцепляющихся заготовок типа II:

$$p_c = 1 - \frac{\left[\sqrt{2}A(4F_I + 4F_{II}) + A(6F_I + 6F_{II} + 10F_{III} + 10F_{IV} + 10F_V) \right]}{2\sqrt{2} \cdot 6\pi \cdot [F_I + F_{II} + F_{III} + F_{IV} + F_V + F_{VI}]}; \quad (3.17)$$

- для сцепляющихся заготовок типа III:

$$p_c = 1 - \frac{\left[\sqrt{2}A(4F_I + 4F_{II} + 6F_{IV}) + \sqrt{2}A_1(2F_{IV} + 2F_V + 4F_{VI}) + A(4F_I + 4F_{II} + 10F_{III} + 4F_{IV} + 10F_V) \right]}{2\sqrt{2} \cdot 6\pi \cdot [F_I + F_{II} + F_{III} + F_{IV} + F_V + F_{VI}]}; \quad (3.18)$$

- для не сцепляющихся заготовок типа IV:

$$p_c = 1 - \frac{\left[\sqrt{2}A(6F_I + 6F_{II} + 6F_{IV}) + A(4F_I + 4F_{II} + 10F_{III} + 4F_{IV} + 10F_V) \right]}{2\sqrt{2} \cdot 6\pi \cdot [F_I + F_{II} + F_{III} + F_{IV} + F_V + F_{VI}]}, \quad (3.19)$$

в которых в зависимости от типа заготовок площадь каждой поверхности определяется по формулам (3.14) и (3.15), а решение зависимостей (3.16) и (3.18) будет сводиться к определению угла $\alpha_{сц}$ экспериментальным путем или аналитическим.

Аналогично получаются выражения и при наличии у заготовки второй полости в наименьшем из торцов.

На рисунке 3.15 показаны вероятности p_c в зависимости от соотношения a для всех полых по торцам заготовок.

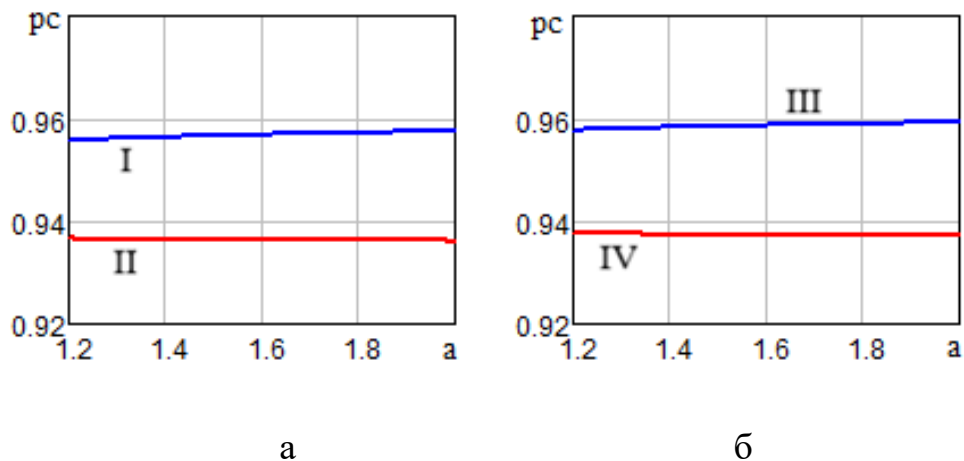


Рисунок 3.15 – Зависимости вероятности p_c от соотношения a для полых по торцам заготовок: а – типы I и II; б – типы III и IV

Для рассматриваемых параметров полых по торцам заготовок видно, что у сцепляемых из них вероятность p_c по значению меньше и в зависимости от соотношения a в данном на графиках диапазоне от 1,2 до 2 изменения вероятности не существенны (рисунок 3.7).

3 Вероятность p_v , учитывающая влияние окружной скорости карманов на захват заготовок. Окружная скорость по захвату ограничена возможностью западания заготовки в карман, поэтому ее значения должны быть значительно меньше значения $v_{пред}$, выражение для определения которого зависит от способа захвата заготовок.

В модернизированном устройстве с захватом радиальными карманами полые по торцам заготовки в нужном положении могут западать в карман одним из трех способов:

- скользя по радиальному пазу боковой поверхностью (вариант 1);
- скользя по радиальному пазу основанием I с меньшим диаметром (вариант 2);
- скользя по скосу диска в тангенциальном направлении (вариант 3).

3.1 При скольжении заготовки по диску в сторону кармана по радиальному пазу захват беспечен в случае ее проникновения на требуемую высоту Δh в радиальный паз высотой h_p (рисунок 3.16). При этом заготовка находится или в положении лежа (рисунок 3.16, а) (вариант 1), или в положении стоя (рисунок 3.16, б) (вариант 2).

В работе [13] была принята гипотеза, по которой вероятность захвата заготовки в карманчиковом БЗУ равна нулю тогда, когда величина кинетической энергии, ей сообщенной движущимся карманом, достаточна для выброса заготовки из кармана на высоту $\Delta h + h_p$:

$$\text{заготовки из кармана на высоту } \Delta h + h_p: \frac{mv_{пред}^2}{2} \leq mg(\Delta h + h_p) \text{ или}$$

$$\Delta h \geq \frac{v_{пред}^2}{2g} - h_p. \quad (3.20)$$

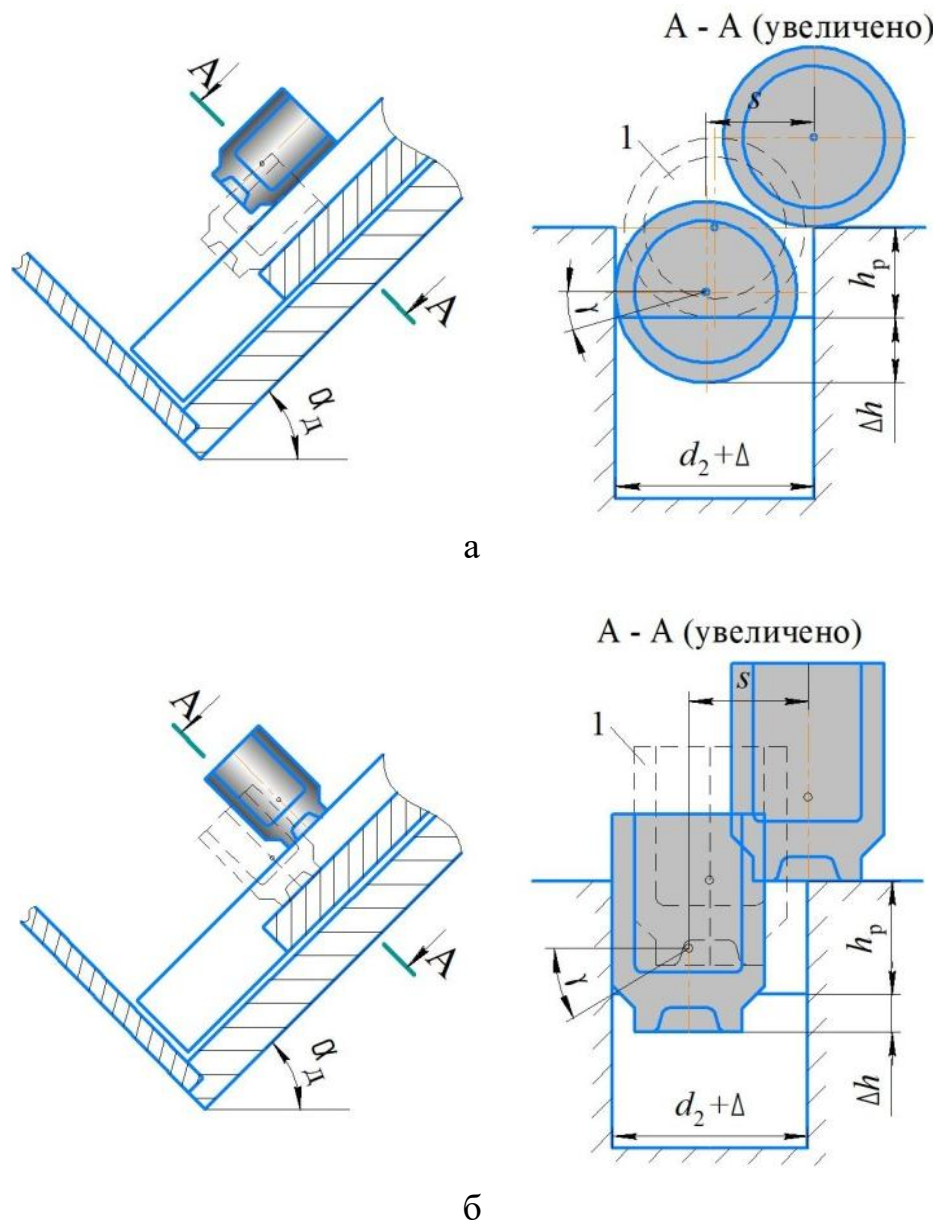


Рисунок 3.16 – Захват полой по торцам заготовки радиальными карманами при скольжении в карман с поверхности диска в радиальные пазы в положении лежа (а) или стоя (б)

Общее уравнение западания заготовки, проходящей за время t путь s по оси x и путь $\Delta h + h_p$ по оси y , сначала в радиальный паз, а потом в карман, можем записать в виде выражений, соответствующих этим осям x и y :

$$s = v_{\text{пред}} t = d_2 + \Delta t - 0,5d_2 \cos \gamma; \quad \Delta h + h_p = \frac{gt^2}{2}. \quad (3.21)$$

Если из первого уравнения (3.21) выразить время и подставить его во второе уравнение (3.21), то получим:

$$\cos \gamma = 2 + \frac{2\Delta t}{d_2} - \frac{2v_{\text{пред}}^2}{gd_2}. \quad (3.22)$$

Величина Δh определяется тем, кокой поверхностью заготовка скользит по пазу:

- если боковой поверхностью, то

$$\Delta h = \frac{d_2}{2} - \frac{d_2}{2} \sin \gamma; \quad (3.23)$$

- если наименьшим по диаметру торцом, то

$$\Delta h = x_c - \frac{d_2}{2} \sin \gamma. \quad (3.24)$$

Приравнивая попарно выражения (3.23) и (3.24) с условием (3.20) и выполняя преобразования, получим:

- если боковой поверхностью, то

$$\sin \gamma = 1 + \frac{2h_p}{d_2} - \frac{v_{\text{пред}}^2}{gd_2}; \quad (3.25)$$

- если наименьшим по диаметру торцом, то

$$\sin \gamma = \frac{x_c}{d_2} + \frac{2h_p}{d_2} - \frac{v_{\text{пред}}^2}{gd_2}. \quad (3.26)$$

Используя известную формулу $\sin \gamma_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma_1}$, вводя обозначения $A = 2 + \frac{2\Delta t}{d_2}$, $B = \frac{1}{gd_2}$, а также $C = 1 + \frac{2h_p}{d_2}$ (для западания, как показано на рисунке 3.16, а); $C = \frac{x_c}{d_2} + \frac{2h_p}{d_2}$ (для западания, как показано на рисунке 3.16, б), получим выражение для $v_{\text{пред}}$:

$$v_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{Y - \sqrt{Y^2 - 4ZX}}{2Z}}, \quad (3.27)$$

где $Z = 5B^2$; $Y = 4AB + 2CB$; $X = A^2 + C^2 - 1$.

3.2 Скольжение заготовки в карман с поверхности скосов вращающегося диска, способствующих захвату, на требуемую высоту Δh (рисунок 3.17) (вариант 3). Так как заготовка скользит по скосу кармана, то примем условие захвата, что заготовка частично отрывается от его стенок (трение в момент отрыва отсутствует).

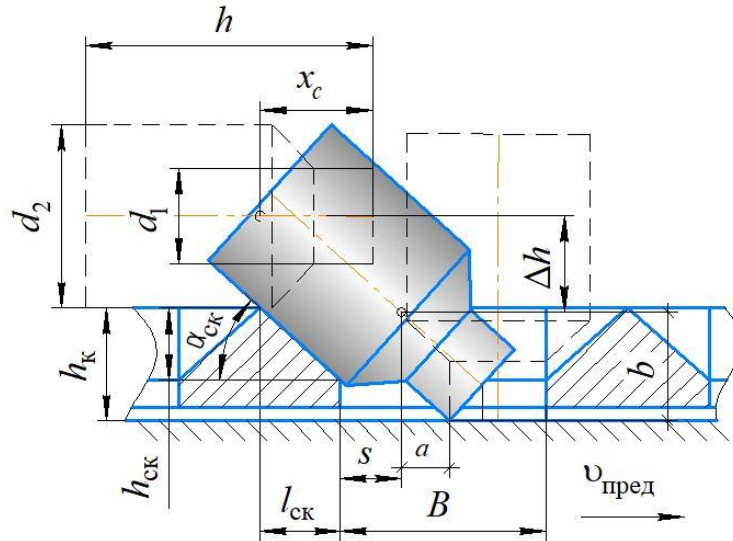


Рисунок 3.17 – Захват полой по торцам заготовки при скольжении в карман с поверхности скосов

Тогда, проходя центром масс заготовки путь равный $l_{\text{ск}} + s$, получим

$$v_{\text{пред}} = (l_{\text{ск}} + s) \sqrt{\frac{g}{2\Delta h}}.$$

Путь s определим как

$$s = B - d_1 - a,$$

где

$$a = x_c \cdot \cos \alpha_{\text{ск}} - 0,5d_1 \cos(90^\circ - \alpha_{\text{ск}}),$$

а путь Δh как

$$\Delta h = h_k + 0,5d_2 - b,$$

где

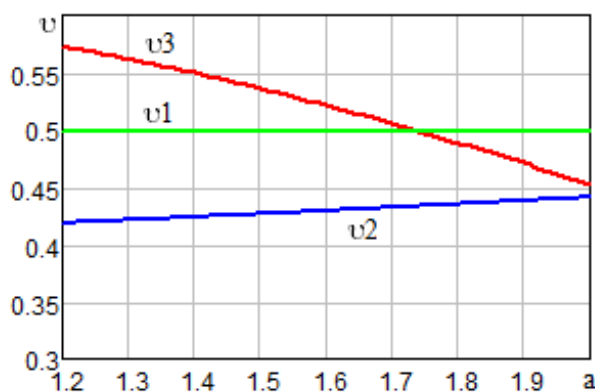
$$b = x_c \cdot \sin \alpha_{\text{СК}} + 0,5d_1 \sin(90^\circ - \alpha_{\text{СК}}).$$

Тогда

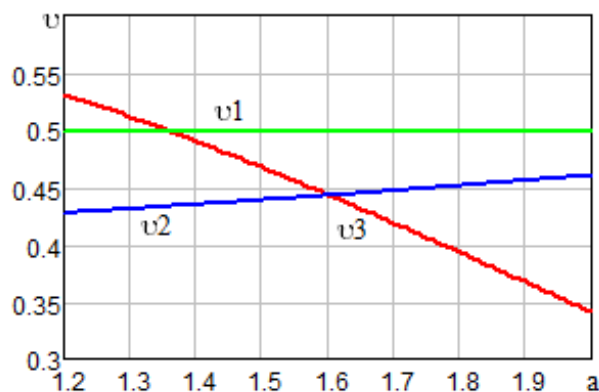
$$v_{\text{пред}} = (l_{\text{СК}} + B - d_1 - x_c \cdot \cos \alpha_{\text{СК}} + 0,5d_1 \sin \alpha_{\text{СК}}) \times \sqrt{\frac{g}{2h_{\text{К}} + d_2 - 2x_c \cdot \sin \alpha_{\text{СК}} - d_1 \cos \alpha_{\text{СК}}}}. \quad (3.28)$$

На рисунке 3.18 показаны для всех четырех типов полых по торцам заготовок визуализирующие изменение $v_{\text{пред}}$ в зависимости от соотношения a .

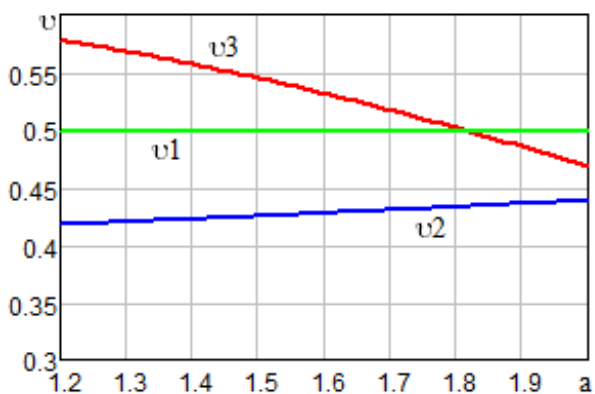
Было принято $l_{\text{СК}} = 0,5d_2$; $h_{\text{р}} = 0,5d_2$; $h_{\text{СК}} = 0,5x_c$.



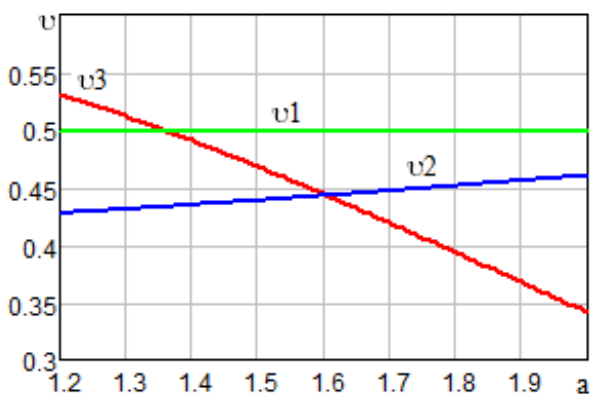
а



б



в



г

Рисунок 3.18 – Зависимости предельной скорости $v_{\text{пред}}$ (м/с) по трем вариан-

там западания полых по торцам заготовок от соотношения a для их типов:

а – I; б – II; в – III; г – IV

Для обеспечения максимальной производительности при построении математической модели должно выбираться минимальное значение $v_{\text{пред}}$ из трех, полученных для различных C в зависимости от поверхности заготовки, на которой она находится.

Например, для полых по торцам заготовок типов I и III при любых значениях соотношения a ориентироваться стоит на $v_{\text{пред}}$ по второму варианту захвата, то есть при скольжении заготовок в карман с поверхности диска в радиальные пазы в положении стоя (см. рисунок 3.16, б).

Для заготовок типов II и IV при соотношениях a в районе 1,6 ориентироваться следует на скорость $v_{\text{пред}}$ по второму варианту захвата, а при соотношении a свыше 1,6 ориентироваться стоит на $v_{\text{пред}}$ по третьему варианту захвата, то есть при скольжении заготовок в карман с поверхности скосов (см. рисунок 3.17).

Именно критическое значение $v_{\text{пред}}$ позволяет определить в математическом описании вероятности захвата вероятность $p_v = 1 - \frac{v^4}{v_{\text{пред}}^4}$ и учесть параметры полых по торцам заготовок и параметров органов захвата БЗУ во взаимосвязи на производительность модернизированного БЗУ.

Разработанная математическая модель производительности модернизированного устройства с регулируемой высотой карманов и диском, между карманами которого находятся скосы, будет описываться представленными выше уравнениями в зависимости от типа заготовки.

С помощью полученных выражений для разработанной математической модели оценим диапазоны возможных значений производительности модернизированного БЗУ для полых по торцам заготовок.

Программы для теоретического исследования производительности модернизированного устройства представлены в приложении Б.

В качестве примера на рисунке 3.19 представлены возможности модернизированного БЗУ по загрузке полых по торцам заготовок типа III при различных соотношениях a длины и наибольшего диаметра, при различных коэффициентах трения в зависимости от окружной скорости при зазоре $\Delta = 0,1d_2$. На основе ранее сделанных выводов $v_{\text{пред}}$ бралась по второму варианту захвата на всем диапазоне a .

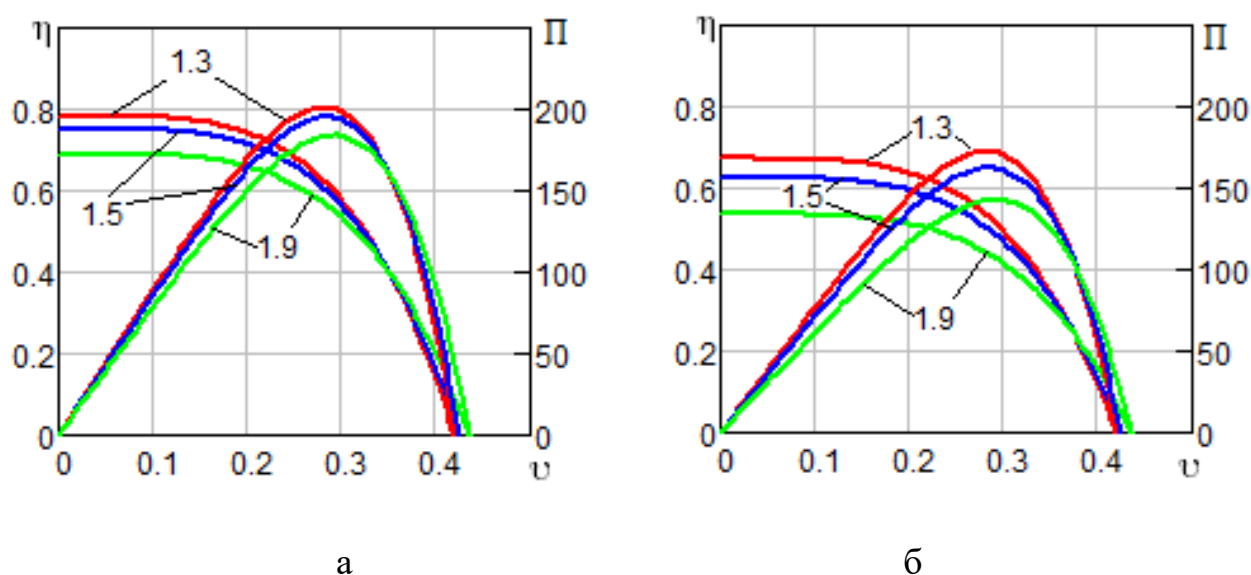


Рисунок 3.19 – Возможности модернизированного БЗУ по захвату полых по торцам заготовок типа III в виде графиков зависимости вероятности захвата и производительности (шт./мин) при зазоре $\Delta = 0,1d_2$ от окружной скорости v (м/с) при $a = 1,3; 1,5; 1,9$ и $\mu = 0,2$ (а) и $\mu = 0,5$ (б)

В качестве примера на рисунке 3.20 представлены возможности модернизированного БЗУ по загрузке полых по торцам заготовок типа IV при различных соотношениях a длины и наибольшего диаметра, при различных коэффициентах трения в зависимости от окружной скорости.

На основе ранее сделанных выводов $v_{\text{пред}}$ бралась по второму варианту захвата на диапазоне a ниже 1,6 (рисунок 3.20, а) и по третьему варианту захвата при a свыше 1,6 (рисунок 3.20, б).

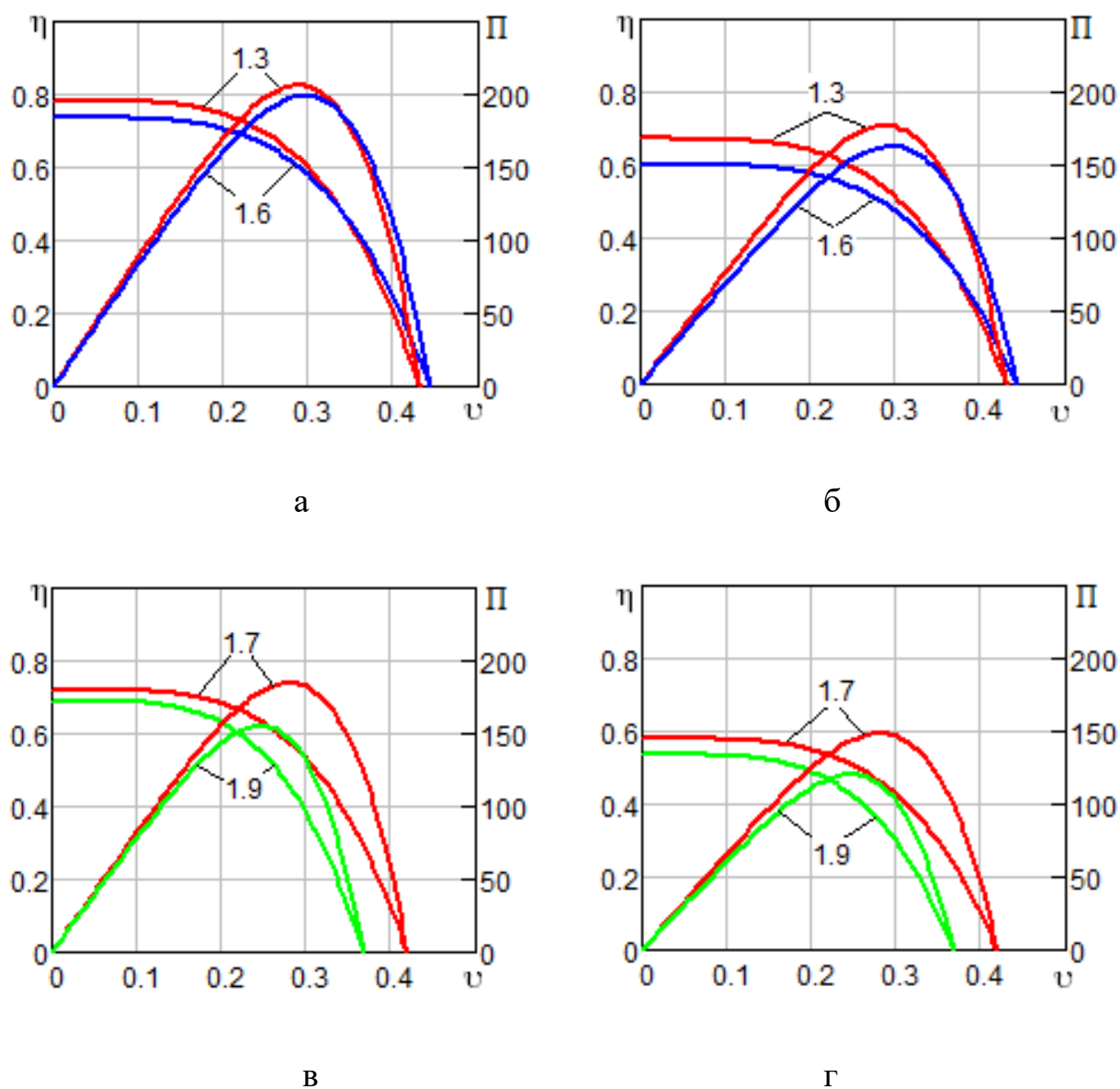


Рисунок 3.20 – Возможности модернизированного БЗУ по захвату полых по торцам заготовок типа IV в виде графиков зависимости вероятности захвата и производительности (шт./мин) при зазоре $\Delta = 0,1d_2$ от окружной скорости v (м/с) при $a = 1,3; 1,6$ (а, б) и $a = 1,7; 1,9$ (в, г), а также $\mu = 0,2$ (а, в) и $\mu = 0,5$ (б, г)

Данные графики показали максимальные значения производительности БЗУ в диапазоне от 125...205 шт./мин при длине скоса равной половине наибольшего диаметра и зазоре по шагу, равном 0,1 наибольшего диаметра. Уменьшение длины скоса между карманами диска при том же зазоре по шагу с

0,5 до 0,45 наибольшего диаметра приведет к повышению производительности до 230 шт./мин. Увеличение зазора по шагу с 0,1 до 0,25 наибольшего диаметра, то есть $\Delta = 0,25d_2$, приведет к повышению производительности до 225 шт./мин (рисунок 3.21 на примере полых по торцам заготовок типа III) [26].

Вероятность захвата полых по торцам асимметричных заготовок имеет максимальную величину от 0,55 до 0,9.

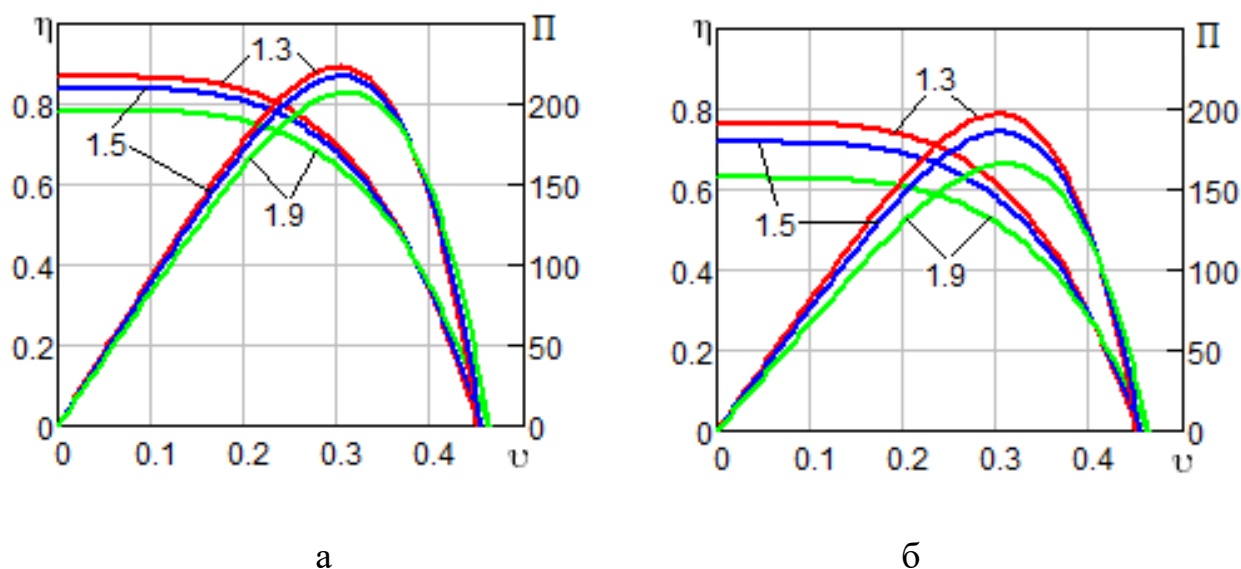


Рисунок 3.21 – Возможности модернизированного БЗУ по захвату полых по торцам заготовок типа III в виде графиков зависимости вероятности захвата и производительности (шт./мин) при зазоре $\Delta = 0,25d_2$ от окружной скорости v (м/с) при соотношениях $a = 1,3; 1,5; 1,9$ и коэффициентах трения $\mu = 0,2$ (а) и $\mu = 0,5$ (б)

Все вышеизложенное необходимо учитывать при конструировании БЗУ для каждой конкретной полый по торцам заготовки в зависимости от требуемых значений производительности автоматической линии [35].

Разработанные математические модели позволяют спрогнозировать производительность модернизированного БЗУ для полых по торцам заготовок и внести корректировки в параметры БЗУ, что является начальным этапом проектирования, основанном на теоретическом исследовании, позволяющем без из-

готовления БЗУ оценить все влияющие на этот параметр факторы, а в первую очередь – параметры БЗУ во взаимосвязи с параметрами заготовок. И только после внесения соответствующих изменений приступать к изготовлению самого БЗУ.

Таким образом, процесс захвата заготовок в БЗУ определяется влиянием целого ряда факторов и в связи с этим обеспечивается: условиями для благоприятного захвата заготовки требуемым положением, взаимосцепляемостью заготовок между собой, окружной скоростью органов захвата, конструктивными особенностями БЗУ, что подтверждается и результатами других исследований [103, 112, 114].

При конструировании БЗУ необходимо учитывать влияние всех приведенных параметров во взаимосвязи друг с другом.

В разработанных моделях учитывается сцепляемость полых по торцам заготовок, а именно, когда одна заготовка входит в другую, различные варианты захвата и наиболее благоприятные из них в зависимости от параметров заготовок; а модернизированное БЗУ выбрано и сконструировано на основе теоретического анализа всех возможных способов захвата и ориентирования полых по торцам заготовок с соотношением a от 1,2 до 2 и выбора из этого разнообразия наиболее производительного.

3.4 Выводы

1 Разработанное модернизированное БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок с соотношением высоты и наибольшего диаметра в диапазоне от 1,2 до 2, способы захвата и ориентирования в котором были выбраны на основе разработанных в главе 2 математических моделей вероятности благоприятного захвата исходя из того, что должно обеспечиваться ее наибольшее значение, имеет следующие особенно-

сти. Во-первых, устройство является универсальным, может переналаживаться под различные типы заготовок, разной высоты и формы. Во-вторых, захват заготовок в устройстве карманом осуществляется не только в радиальном направлении со стороны пазов, но и в тангенциальном – со стороны скосов. Таким образом, скосы в БЗУ предназначены не для ворошения заготовок, как например в зубчатом БЗУ, а для функции направления тех заготовок в карман, которые заняли по периферии диска наиболее благоприятное положение (расположились своей боковой поверхностью). В третьих, для полых по торцам асимметричных заготовок, у которых центр масс смещен, карман в верхней части БЗУ становится выше за счет паза в планке, что делает более стабильным их ориентирование.

2 Для стабильной работы усовершенствованного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок были разработаны конструктивные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования, определяющие в виде диапазонов взаимосвязанных параметров заготовок и БЗУ условия его стабильного функционирования отдельно по захвату и отдельно по ориентированию и органам БЗУ, принимающих участие в этих процессах. При исследовании процесса захвата были определены допустимые параметры радиальных пазов (длина, количество, чередование длинных и коротких, высота), направляющих скосов (длина, угол), радиус диска, шаг органов захвата, их ширина и длина. При исследовании процесса ориентирования были определены допустимые параметры кармана (высота), планки (высота паза, ширина паза, высота). Соблюдение полученных условий позволит в модернизированном БЗУ выдавать к технологическому оборудованию только правильно сориентированные полые по торцам заготовки.

3 Математические модели вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ были представлены в виде произведения вероятности благоприятного захвата, позволяющей обосновать способы захвата и ориентирования, которые были реализованы в БЗУ, вероятности, позволяющей

учесть взаимосцепляемость заготовок, в том числе тех, у которых один торец может входить в другой, и вероятности, позволяющей оценить влияние предельной окружной скорости по захвату. Полученные теоретически модели описывают влияние способов захвата и ориентирования, параметры заготовок, взаимосцепляемость всех поверхностей заготовок, конструктивные и кинематические параметры БЗУ, коэффициент трения между заготовками и БЗУ, коэффициент трения между заготовками; способы западания в карманы заготовок из радиальных пазов и со стороны направляющих скосов. Было получено, что предельная скорость определяется способом западания в карман, что зависит от соотношения a высоты и наибольшего диаметра заготовки.

4 Теоретические исследования на примере некоторых полых по торцам заготовок показали, что в усовершенствованном БЗУ наибольшая производительность достигается при зазоре по шагу, равном 0,25 наибольшего диаметра и составляет до 225 шт./мин. Уменьшение длины направляющего скоса между карманами диска с 0,5 до 0,45 наибольшего диаметра при зазоре по шагу, равном 0,1 наибольшего диаметра приведет к повышению производительности с 205 до 230 шт./мин.

5 Разработана компьютерная программа, которая позволяет провести теоретические исследования вероятности захвата и производительности БЗУ в зависимости от соотношения высоты и наибольшего диаметра, зазора по шагу в кармане, коэффициента трения и других параметров. Это позволит спроектировать наиболее производительное БЗУ, скорректировав те параметры БЗУ, которые на нее больше всего влияют.

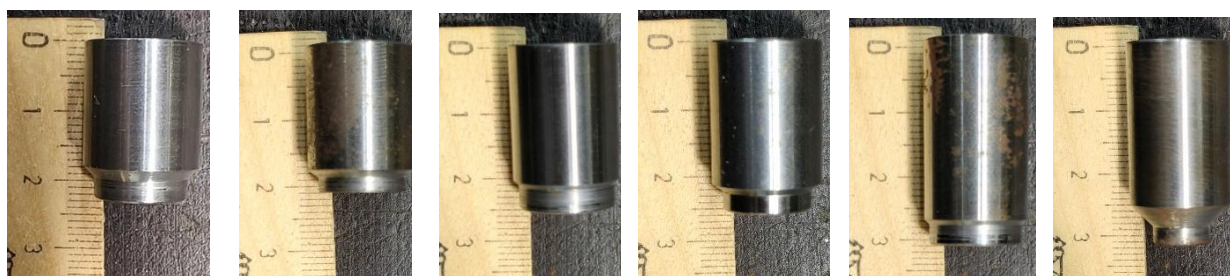
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК

4.1 Описание разработанного макета усовершенствованного устройства и заготовок для проведения экспериментов

Для проведения экспериментальных исследований и проверки стабильного работы модернизированного устройства был разработан натурный макет для комплексного его использования для шести типов асимметричных полых по одному или двум торцам заготовок, фотографии которых сопоставимы линейке и приведены на рисунке 4.1, а чертежи и размеры – в таблице 4.1.



а



б

в

г

д

е

ж

Рисунок 4.1 – Асимметричные полые по торцам заготовки двух типов I и II

с размерами наибольшего диаметра (а) и высоты (б, в, г, д, е):

б – $h/d_2 = 1,3$ тип I; в – $h/d_2 = 1,3$ тип II; г – $h/d_2 = 1,5$ тип I;

д – $h/d_2 = 1,5$ тип II; е – $h/d_2 = 1,9$ тип I; ж – $h/d_2 = 1,9$ тип II

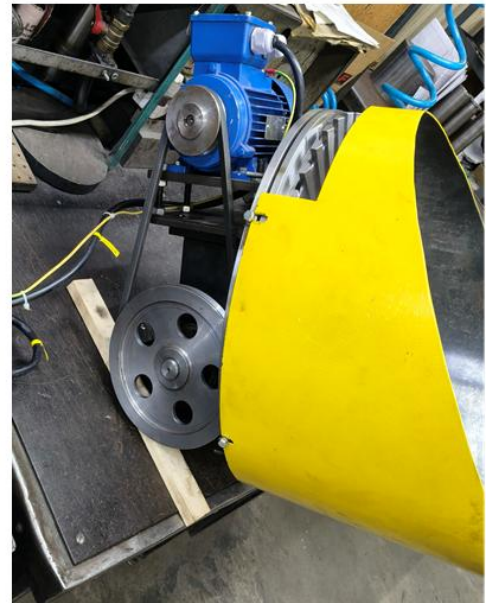
Таблица 4.1 – Параметры асимметричных полых по торцам заготовок двух типов, три вида по каждому (по соотношению h / d_2)

Тип	Вид		
	$h / d_2 = 1,3$	$h / d_2 = 1,5$	$h / d_2 = 1,9$
I			
II			

Собранный макет модернизированного устройства для полых по торцам заготовок представлен на рисунке 4.2.



а



б

Рисунок 4.2 – Собранный макет модернизированного устройства: а – спереди; б – сбоку

Экспериментальный макет устройства состоит из вращающегося диска с радиальными пазами и скосами, основания, к которому через пружины крепится кольцевой ориентатор с установленными на нем планкой и собачкой, и обечайка, образующая бункер. В обечайке в зоне установки собачки выполнено выдающее ориентированные заготовки окно.

Макет модернизированного устройства для полых по торцам заготовок разрабатывался следующим образом.

Эксперименты проводились в лаборатории, в которой уже имелась станция, привод и обечайка БЗУ, поэтому требовалось в соответствии с их параметрами изготовить остальные элементы конструкции, но это накладывало определенные ограничения на некоторые параметры макета, не влияющие на возможности БЗУ в части реализации в нем функций захвата и ориентирования загото-

вок. Органы БЗУ, участвующие непосредственно в процессах захвата и ориентирования, были изготовлены в соответствии с разработанными в главе 3.2 ограничениями.

Радиус вращающегося диска модернизированного устройства был принят равным $R_d = 0,228$ м. Расположение вращающегося диска – под углом $\alpha_d = 45^\circ$. По периферии диска равномерно располагаются органы захвата – радиальные пазы, заканчивающиеся карманами – всего 40 штук.

Чтобы число карманов было максимально возможным, пазы имеют не одинаковую длину: 20 длинных радиальных пазов с $l_{пк} = 0,131$ м; 20 коротких радиальных пазов с $l_{пк} = 0,085$ м.

Высота всех радиальных пазов $h_{п} = 0,008$ м, принималась равной половине диаметра наибольшего торца заготовки, чтобы все попавшие в них заготовки оставались в пазах и перемещались к карманам, а не выскакивали из пазов, в том числе при столкновении с остальными заготовками.

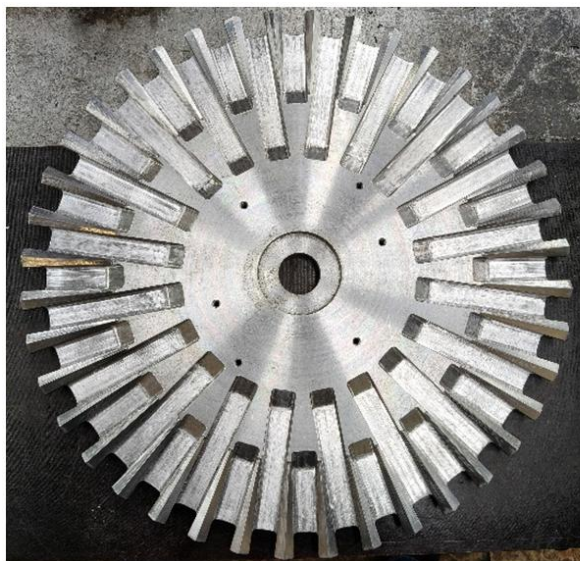
На перемычках между радиальными пазами и карманами выполненные скосы, выполняющие функцию направления заготовки в карман и способствующие развороту заготовки нужным торцом в карман под действием силы тяжести, имеют длину $l_{ск} = 0,5d_2 = 0,08$ м и угол $\alpha_{ск} = 30^\circ$. Таким образом, расстояние между карманами $\delta = 2l_{ск} = 0,016$ м. Высота скосов

Длину и ширину карманов подбираем исходя из наибольшей вероятности захвата, которая обеспечивается при зазоре $\Delta = 0,25d_2$. Форма карманов – близкая к квадратной (на виде сверху); длина и ширина $l_k = B = 0,02$ м.

Шаг карманов: $t = \delta + B = 2l_{ск} + d_2 + \Delta = 0,036$ м.

От поверхности диска к дну радиального паза выполнен плавный переход с помощью фасок для беспрепятственного удаления из пазов неправильно запавших заготовок при пассивном ориентировании обратно в бункер.

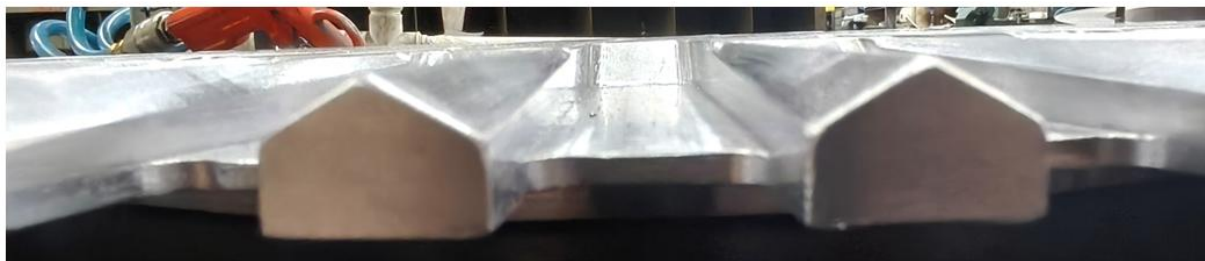
Чтобы изделия меньше повреждались во время ворошения, все острые углы на переходах между поверхностями вращающегося диска были сглажены. Фотографии вращающегося диска приведены на рисунке 4.3.



а



б



в

Рисунок 4.3 – Фотографии вращающегося диска:

- а – рабочая сторона с радиальными пазами-карманами, заканчивающихся (к центру диска) фасками для выпадения из них заготовок, которые запали в карманы не в том положении (меньшим по торцу диаметром вверх);
- б – обратная сторона вращающегося диска; в – вид с торца диска

На обратной стороне вращающегося диска выполнено опорное кольцо, которым диск упирается в опорные ролики.

Для стабильного и надежного ориентирования БЗУ были сконструированы следующие элементы макета.

Кольцо, устанавливаемое на основании, имеет буртик высотой 0,008 м, в котором выполнен секторный вырез и отверстие для установки собачки и приведения ее в рабочее положение с помощью пружины (рисунок 4.4, а). На кольце также выполнены пазы для установки планки (рисунок 4.4, б) и необходимые отверстия для шпилек и винтов.



а



б

Рисунок 4.4 – Кольцо (а) и (планка (б))

Планка на кольце крепится в верхней части с помощью трех потайных винтов. Угол начала установки планки начинается в 30 градусах от вертикали, а углы крепления планки к кольцу – по центру от вертикали и 20 градусов вправо и влево. Планка представляет собой сектор кольца с углом 60 градусов, прямоугольного сечения со скосами по торцам и кольцевой проточкой на верхней поверхности планки. Размеры планки: ширина планки $B_{\text{П}} = 0,020$ м, ширина паза планки $B_{\text{ПП}} = 0,015$ м.

Собачка имеет форму, подбираемую эмпирическим путем (рисунок 4.5, а). Она располагается после планки на угле 65 градусов от вертикали. В рабочее положение приводится пружиной, которая одним концом крепится за собачку, а другим за буртик кольца. В зоне расположения собачки в существующей обечайке было вырезано разгружающее окно (рисунок 4.5, б).



а



б

Рисунок 4.5 – Собачка: а – фото общего вида;
б – разгружающее заготовки окно в обечайке

В обратную сторону кольца вварены шпильки, которыми оно крепится к основанию через пружины. Кольцо в сборе с планкой и собачкой показано на рисунке 4.6.



а



б

Рисунок 4.6 – Кольцевой ориентатор в сборе (фото):
а – рабочая сторона; б – обратная сторона со шпильками

Кольцо в сборе крепится к нижнему диску, в котором выполнены необходимые технологические отверстия для вала и муфты и для крепления опорных роликов и обечайки бункера (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Диск нижний (основание)

После разработки макета для нескольких типов и видов загружаемых заготовок была проведена оценка его работоспособности и универсальности, благодаря регулировке высоты карманов. Это позволяет ориентировать в БЗУ полые по торцам асимметричные заготовки разной высоты и с разным смещением центра масс.

4.2 Проверка работоспособности и стабильной работы устройства

Проверка работоспособности и стабильной работы модернизированного БЗУ осуществлялась для обоснования разработанных ограничений на параметры органов захвата и ориентирования.

Регулировка размеров кармана в зависимости от типа и вида заготовки происходит следующим образом.

При закручивании винтов пружины сжимаются, кольцо в сборе опускается вниз, высота кармана увеличивается и наоборот, что позволяет загружать полые по торцам асимметричные заготовки, отличающиеся отношением длины к наибольшему диаметру в диапазоне от 1,3 до 1,9.

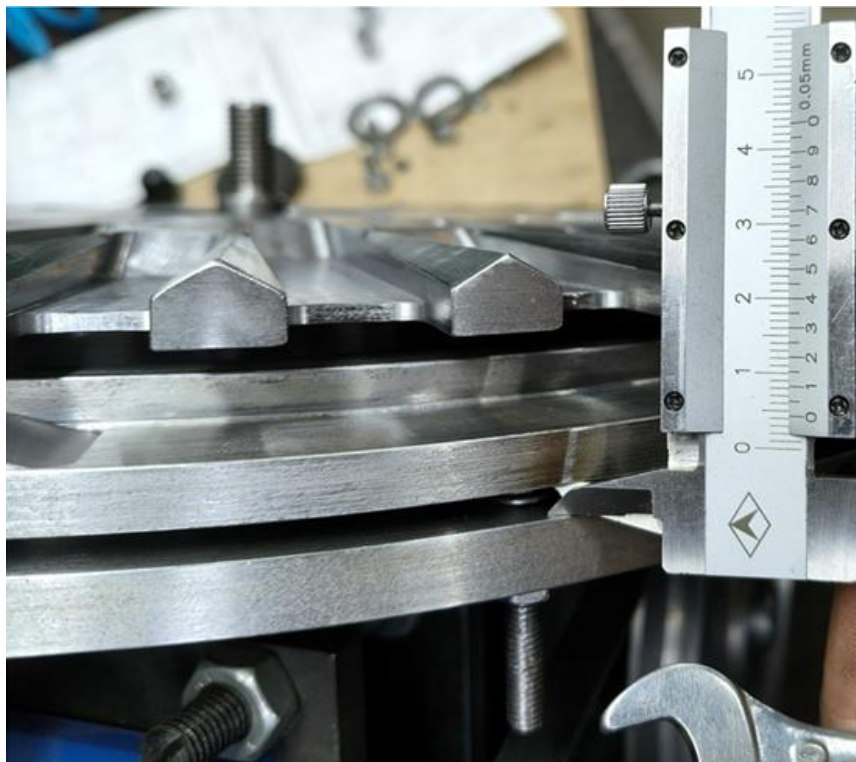
На макете был реализован диапазон регулировки кольца относительно основания от 4,4 мм до 9,1 мм (рабочий ход пружины), что достаточно, чтобы обеспечить высоту кармана в диапазоне 19,35 мм до 26,3 мм для загрузки всех заготовок (рисунок 4.8).

Таким образом, были определены соответствующие параметры регулировки для всех типов заготовок, каждого по три вида, при которых неправильно запавшие заготовки будут переориентироваться на планке, а остальные удерживаться карманом (рисунок 4.9).

Для всех типов и видов заготовок, изготовленных для экспериментов, были подобраны и конструктивно обоснованы размеры карманов модернизированного БЗУ и параметры его регулировки.

В таблице 4.2 приведены диапазоны и реальный параметр высоты кармана модернизированного БЗУ для изготовленных для эксперимента асимметричных полых по торцам заготовок двух типов и трех видов.

На рисунке показано 4.10 расположение полых по торцам асимметричных заготовок в кармане.



а



б

Рисунок 4.8 – Изменение зазора между кольцом в сборе и нижним диском, когда высота кармана минимальна (а) и максимальна (б)

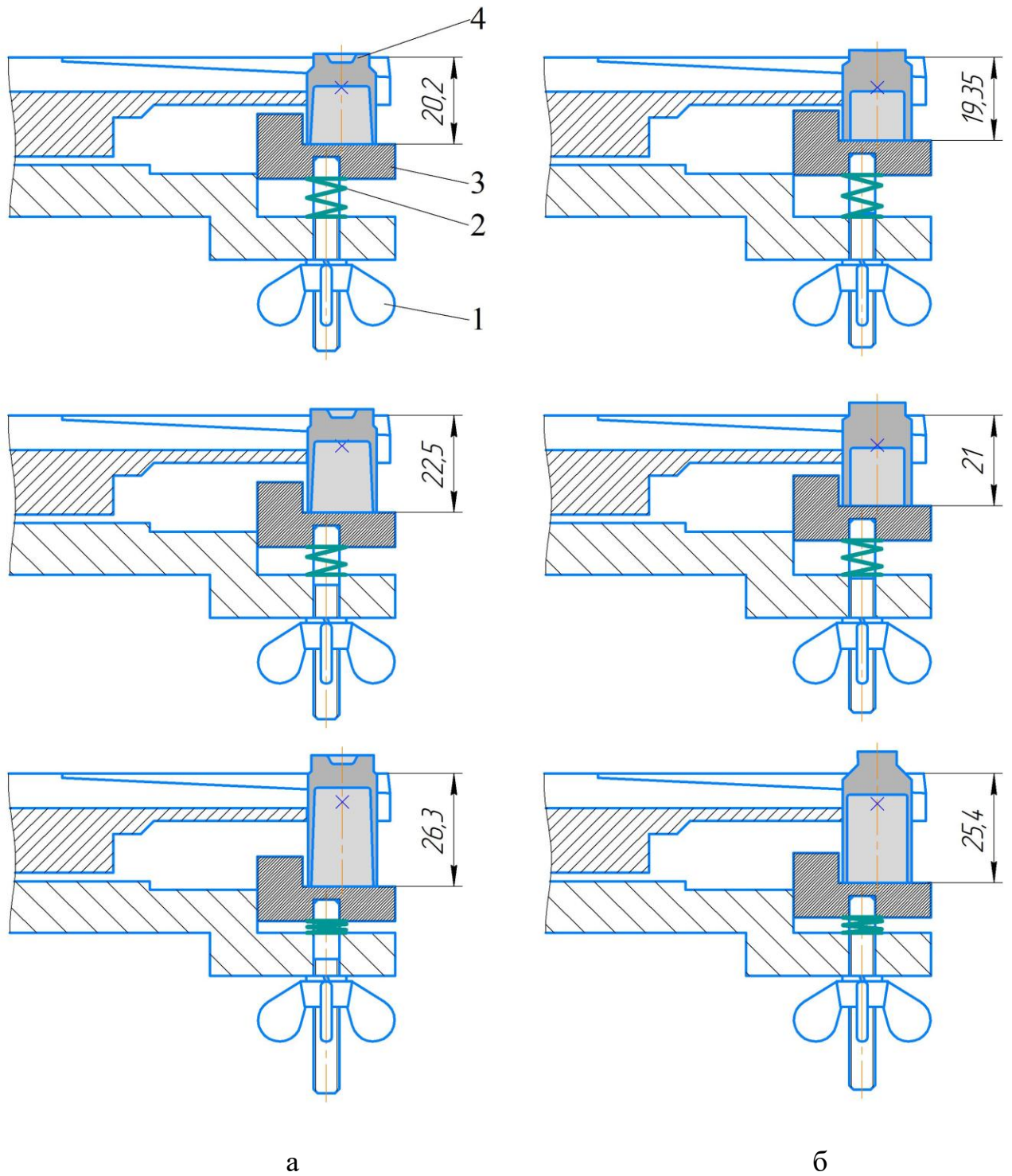


Рисунок 4.9 – Регулировка высоты и основания до поверхности диска
для каждого типа и вида асимметричной полый по торцам заготовки:

- 1 – регулировочная гайка; 2 – пружина; 3 – кольцо;
4 – полая по двум (а) или одному (б) торцам заготовка

Таблица 4.2 – Диапазоны и реальный параметр высоты кармана
для асимметричных полых по торцам заготовок двух типов и трех видов

Тип	Вид	$h_k^{\max}$, мм	h_k , мм	$h_k^{\min}$, мм
I	$h / d_2 = 1,3$	5,16	5	-
	$h / d_2 = 1,5$	7,48	7	0,52
	$h / d_2 = 1,9$	11,67	11	2,83
II	$h / d_2 = 1,3$	4,36	4	0,64
	$h / d_2 = 1,5$	6,12	5	1,88
	$h / d_2 = 1,9$	10,39	7	4,11



а



б



в



г

Рисунок 4.10 – Расположение некоторых заготовок в кармане:

$h / d_2 = 1,5$ тип I (а) и II (б); $h / d_2 = 1,9$ тип I (в) и тип II (г)

С целью проверки работоспособности и стабильного функционирования макета модернизированного устройства были проведены эксперименты по загрузке заготовок, представленных на рисунке 4.1, отличающиеся величиной диаметров торцов и высоты, а также формой асимметричного торца.

После того, как высота кармана отрегулировалась для каждой заготовки по отдельности, осуществлялась проверка работоспособности устройства на возможности захвата и пассивного ориентирования.

Сначала под каждую заготовку с помощью регулируемого кольцевого ориентатора выставлялась необходимая высота кармана (см. рисунок 4.8), единичные заготовки устанавливались в кармане в неправильном положении, затем устройство запускалось и отслеживалось, чтобы при прохождении зоны установки планки они выпадали в бункер, а заготовки в правильном положении остаются в кармане и направляются на выдачу с помощью собачки.

Покадровая съемка ориентирования полых по одному или двум торцам заготовок показана на рисунках 4.11 – 4.15:

- тип I, $h / d_2 = 1,3$ (рисунок 4.11);
- тип II, $h / d_2 = 1,3$ (рисунок 4.12);
- тип II, $h / d_2 = 1,5$ (рисунок 4.13);
- тип I, $h / d_2 = 1,9$ (рисунок 4.14);
- тип II, $h / d_2 = 1,9$ (рисунок 4.15).

При вращении диска заготовки ворошились на дне бункера. Те заготовки, которые оказывались боковой поверхностью на скосах, наклонялись тяжелым торцом в сторону кармана и затем западали.

Все заготовки, захваченные радиальными карманами, также перемещались к карману и западали в него. Затем все захваченные заготовки направлялись в зону установки планки.

Таким образом, захват заготовок осуществлялся с трех различных направлений путем скольжения.

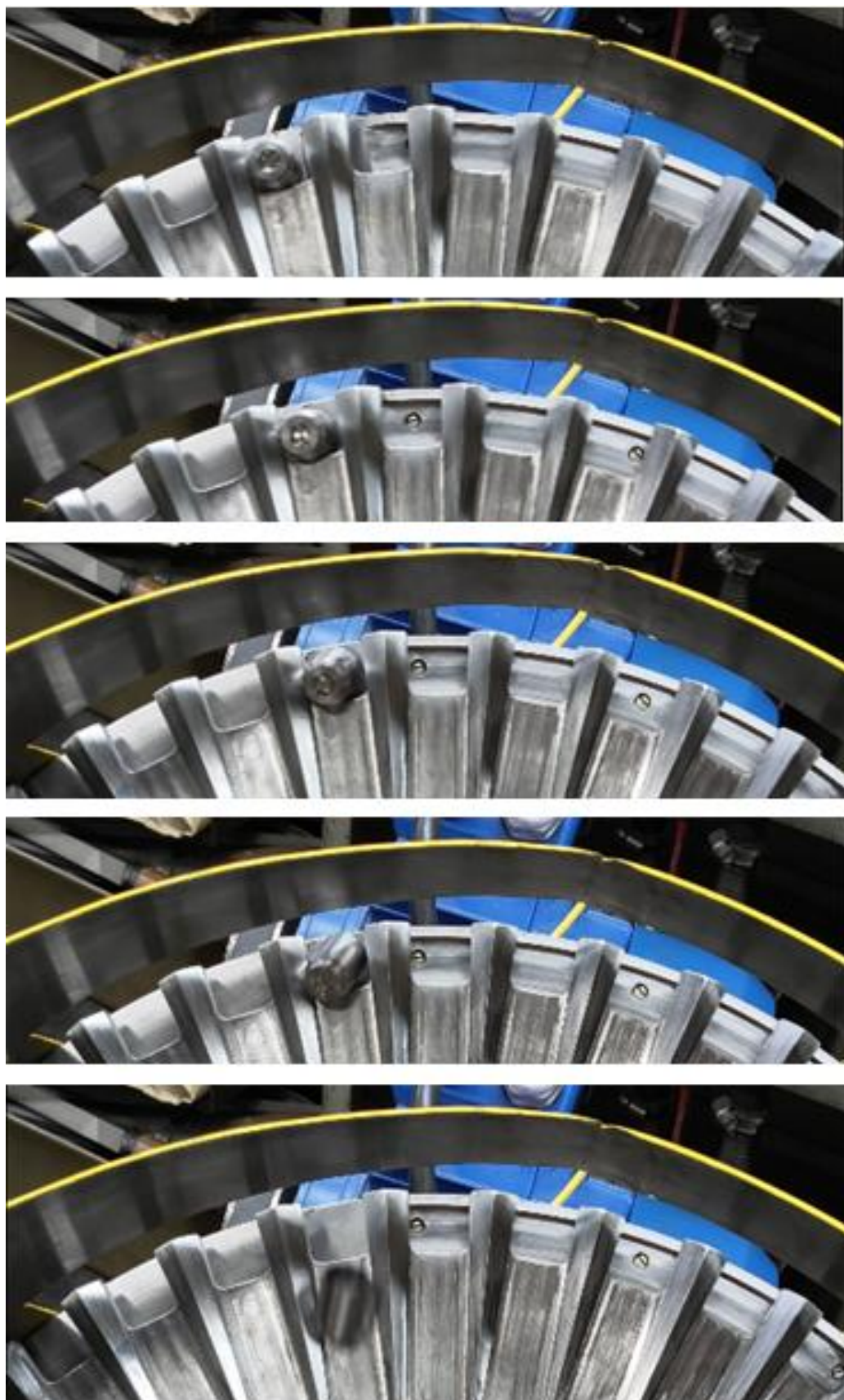


Рисунок 4.11 – Кадры процесса переориентирования
заготовки тип I, $h / d_2 = 1,3$

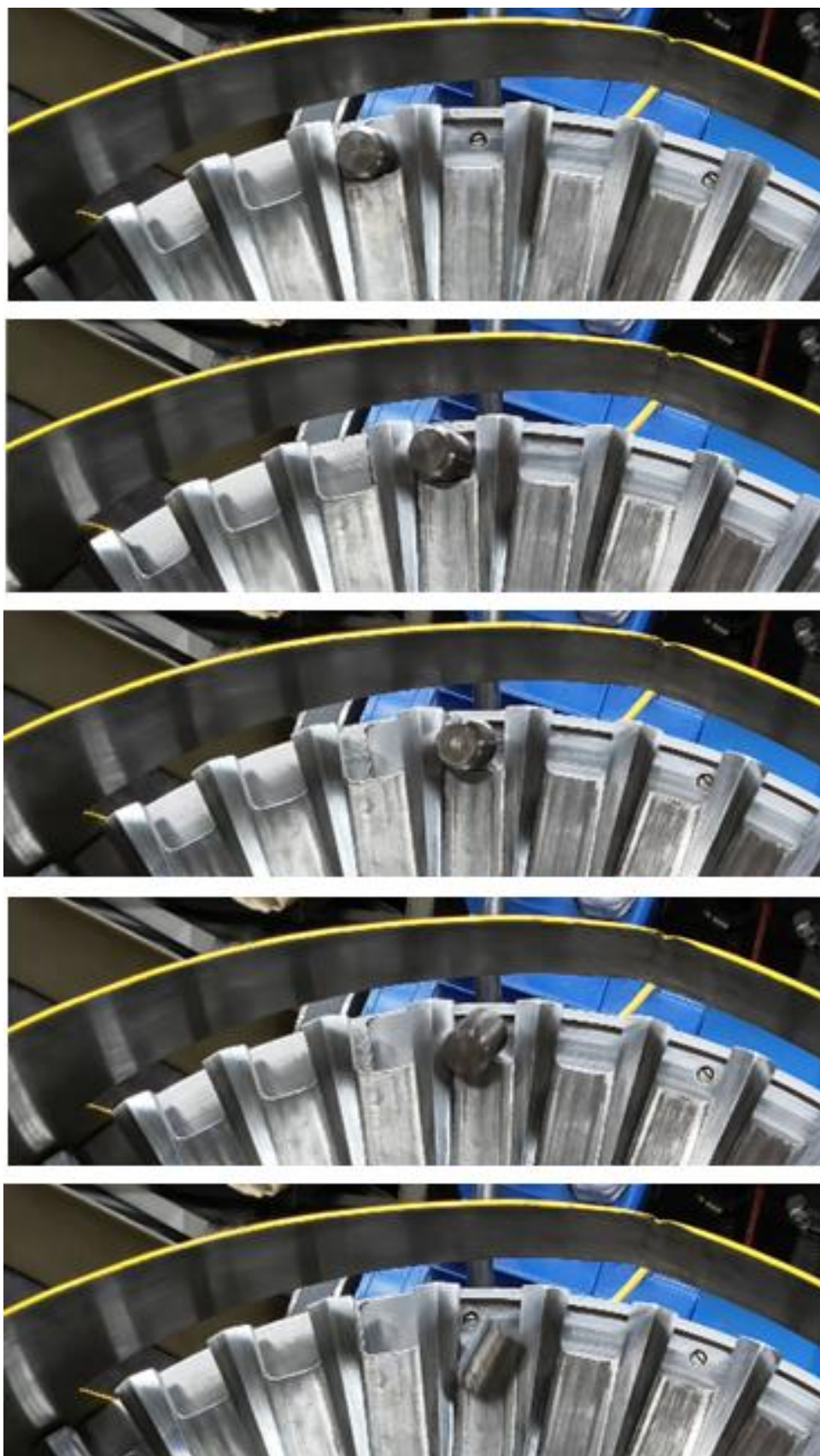


Рисунок 4.12 – Кадры процесса переориентирования
заготовки тип II, $h / d_2 = 1,3$

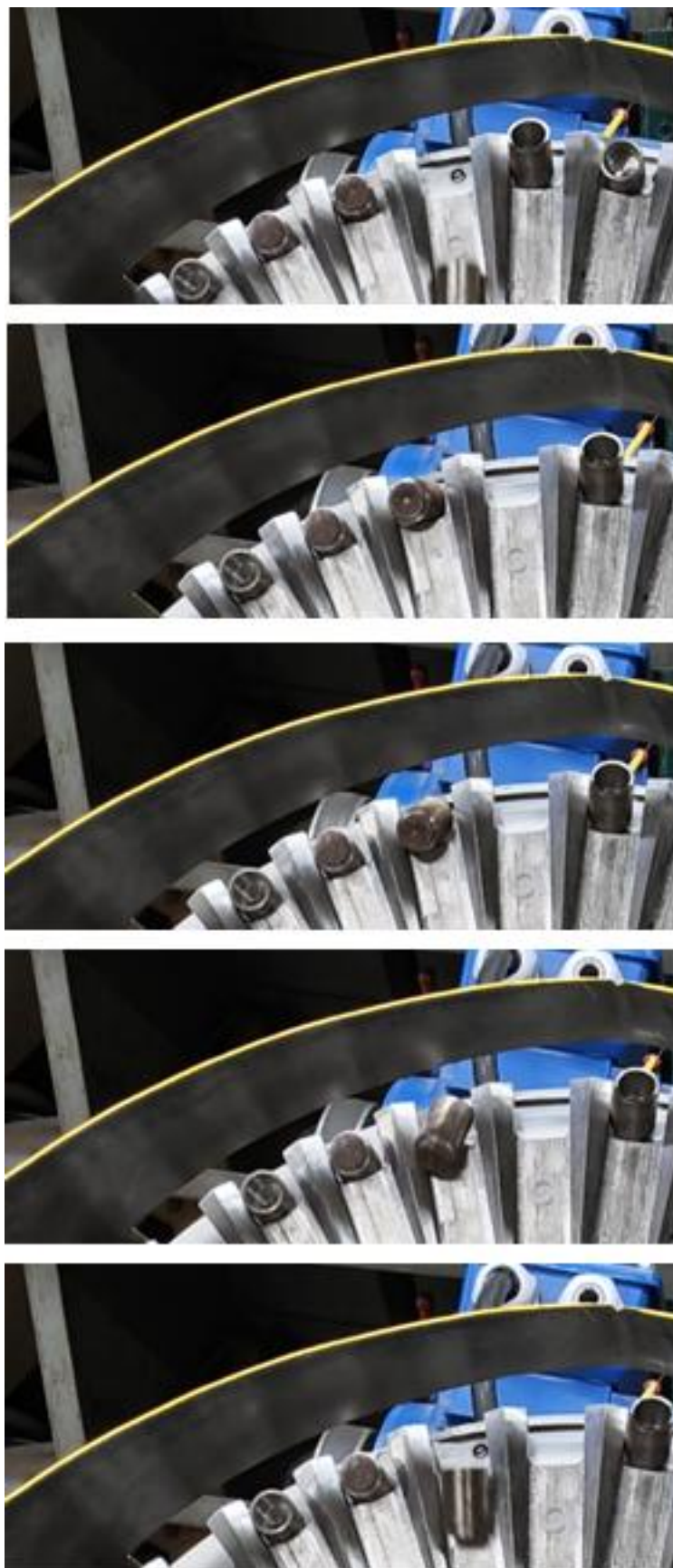


Рисунок 4.13 – Кадры процесса переориентирования
заготовки тип II, $h / d_2 = 1,5$

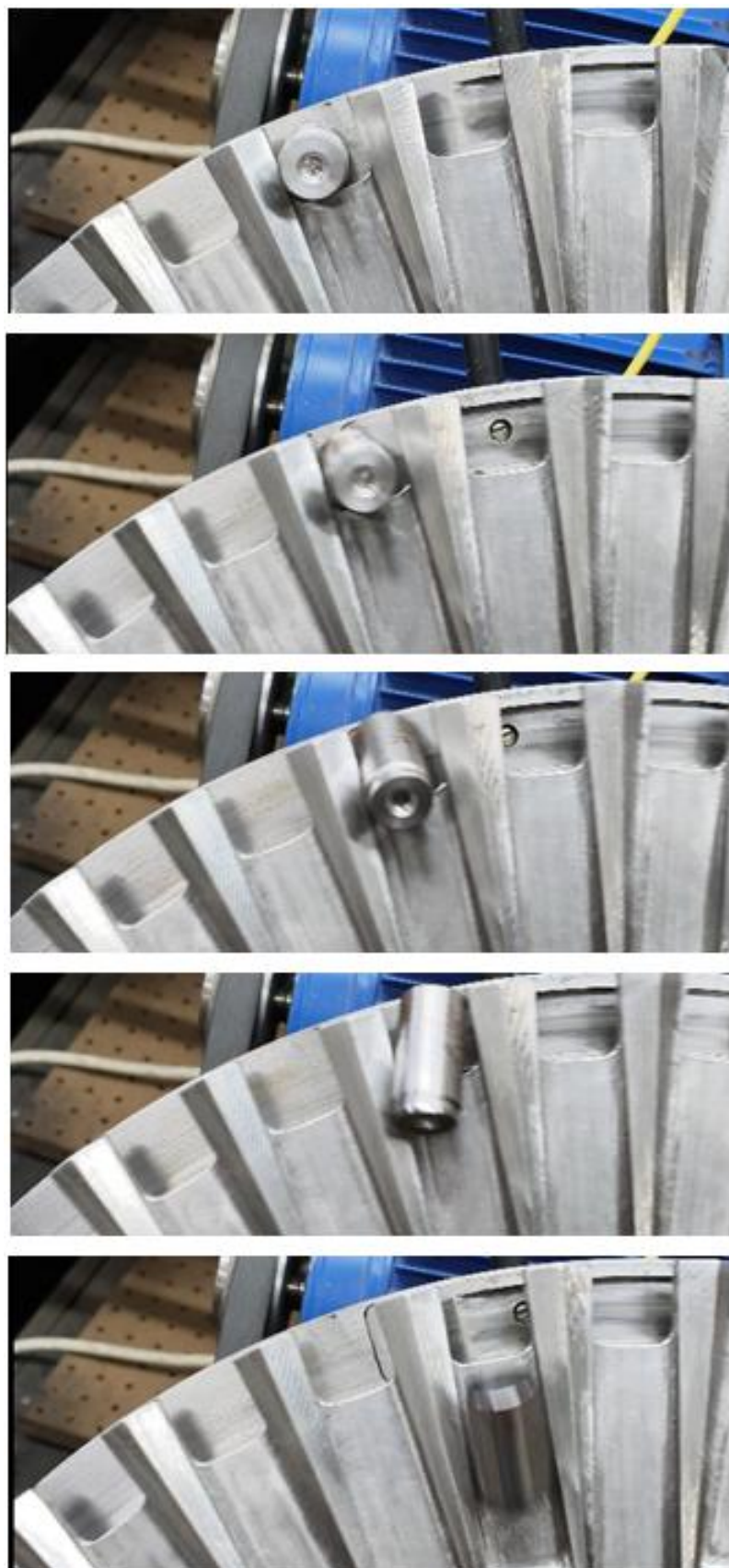


Рисунок 4.14 – Кадры процесса переориентирования
заготовки тип I, $h / d_2 = 1,9$



Рисунок 4.15 – Кадры процесса переориентирования
заготовки тип II, $h / d_2 = 1,9$

Все неправильно запавшие полые по торцам заготовки выпадали из карманов для повторного ориентирования, а правильно запавшие заготовки собачкой удалялись из бункера.

Таким образом, благодаря представленному решению по регулировке кольцевого ориентатора, стало возможным ориентировать в нем заготовки с различными соотношением длины к диаметру наибольшего торца, а также расположением центра масс. Макет модернизированного БЗУ выполнял свои функции без сбоев для всех типов и видов заготовок, отобранных для экспериментов.

4.3 Проверка адекватности разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности

Для проведения экспериментов были отобраны полые по одному торцу заготовки типа II двух видов с $h/d_2 = 1,5$ (вид 2) и с $h/d_2 = 1,9$ (вид 3) (см. рисунок 4.1, см. таблица 4.1). Экспериментальные исследования производительности проведем в следующей последовательности:

- построим теоретические модели вероятности захвата и производительности, используя разработанные модели и программы;
- проведем эксперимент на модернизированном макете БЗУ;
- выполним верификацию теоретических моделей с использованием результатов эксперимента.

4.3.1 Построение теоретических моделей вероятности захвата и производительности

В качестве исходных параметров были взяты геометрические размеры заготовок (см. таблица 4.1), размеры вращающегося диска, карманов и их элементов, коэффициенты трения между БЗУ и заготовками 0,36, а между заготовками

его значение 0,35 [74]. Для сцепляющихся заготовок экспериментально был определен угол сцепляемости, равный $30,5^\circ$.

Из трех вариантов западания заготовок в карман был определен в качестве ограничивающего:

- вариант 2 для заготовок с $h/d_2 = 1,5$ вида 2, было получено $v_{\text{пред}} = 0,376 \text{ м/с}$;

- вариант 3 для заготовок с $h/d_2 = 1,9$ вида 3, было получено $v_{\text{пред}} = 0,337 \text{ м/с}$.

Для выбранных для эксперимента заготовок типа II программы, представленные в приложения Б были скорректированы под конкретные параметры заготовок.

В приложении В приведены программы построения математических моделей вероятности захвата и производительности экспериментального макета устройства для двух видов заготовок типа II, а графики их визуализирующие представлены на рисунке 4.16.

В виде математических выражений вероятность захвата и производительность БЗУ для каждого случая запишется в виде:

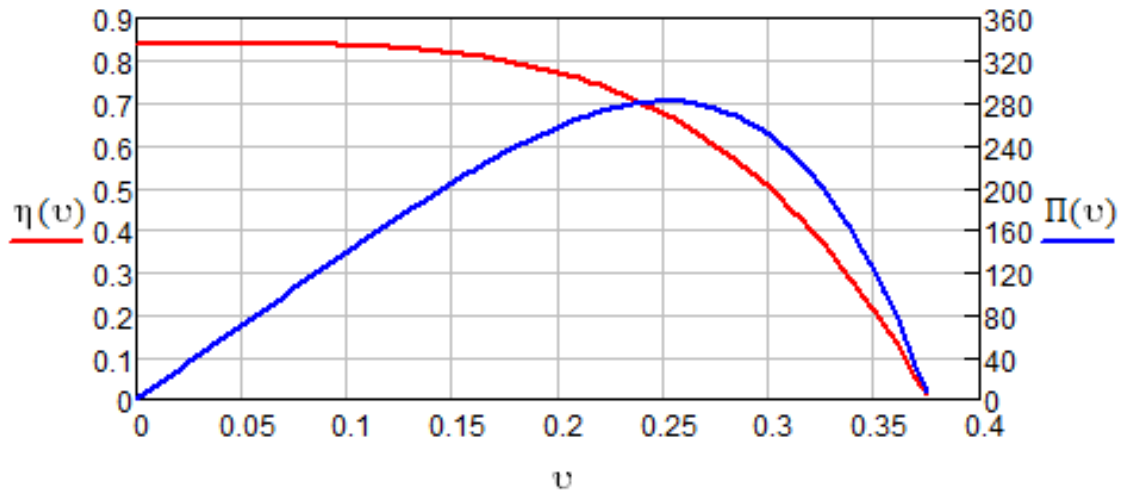
- для заготовок с $h/d_2 = 1,5$ вида 2:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{II-2}} &= p_i p_c p_v = 0,839 \cdot (1 - 50,2v^4), \\ \Pi_{\text{II-2}} &= \Pi_{\text{теор}} \cdot \eta_{\text{II-2}} = \frac{60v}{0,036} \cdot [0,839 \cdot (1 - 50,2v^4)]. \end{aligned} \quad (4.1)$$

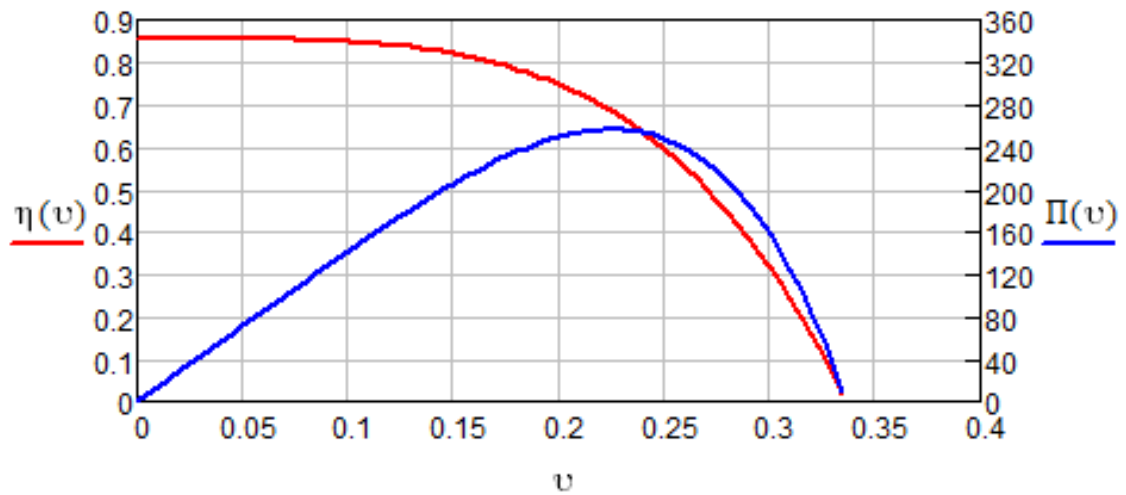
- для заготовок с $h/d_2 = 1,9$ вида 3:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{II-3}} &= p_i p_c p_v = 0,854 \cdot (1 - 77,84v^4), \\ \Pi_{\text{II-3}} &= \Pi_{\text{теор}} \cdot \eta_{\text{II-2}} = \frac{60v}{0,036} \cdot [0,854 \cdot (1 - 77,84v^4)]. \end{aligned} \quad (4.2)$$

По графикам видно, что максимальная теоретически полученная производительность модернизированного БЗУ составляет 280 шт./мин для заготовок вида 2 и 257 шт./мин для заготовок вида 3 типа II.



а



б

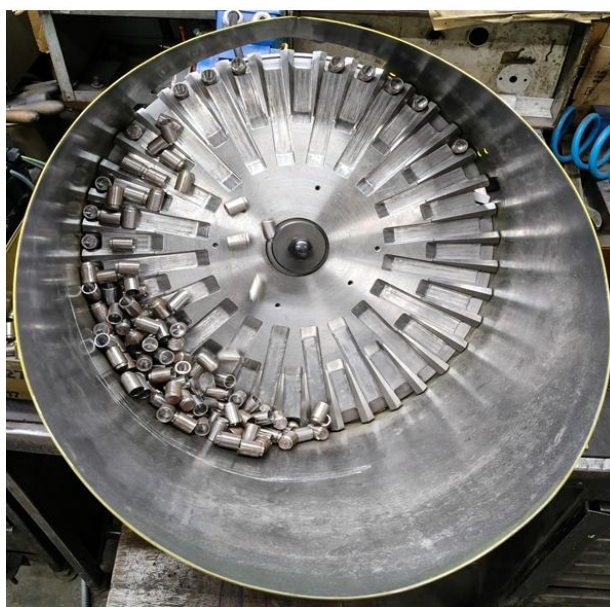
Рисунок 4.16 – Визуализация теоретически построенных моделей вероятности захвата и производительности экспериментального макета устройства для заготовок типа II видов 2 (а) и (3)

На следующем этапе необходимо провести эксперимент на макете модернизированного БЗУ для полых по одному торцу заготовок типа II видов 2 и 3 и обработать результаты.

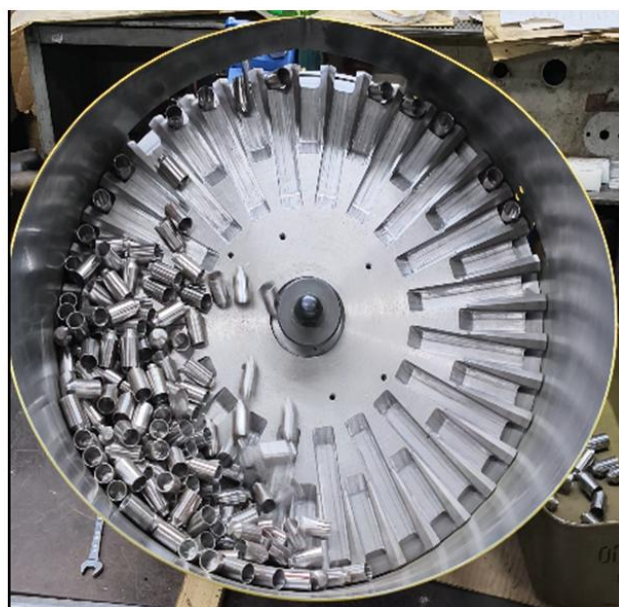
4.3.2 Описание и результаты экспериментальных исследований производительности

Экспериментальная часть на данном этапе исследования осуществлялась следующим образом.

В бункер модернизированного БЗУ были засыпаны заготовки типа II двух видов (рисунок 4.17). Все действия при проведении эксперимента сначала проводились с заготовками одного вида, а затем с заготовками другого вида.



а



б

Рисунок 4.17 – Макет модернизированного БЗУ (вид сверху)
с засыпанными полыми на наибольшем торце заготовками
типа II с $h/d_2 = 1,5$ (а) и $h/d_2 = 1,9$ (б)

Вращение диска по часовой стрелке обеспечивал трехфазный асинхронный двигатель на 0,18 кВт, управляемый частотным преобразователем. Крутящий момент передавался через ременную передачу, редуктор и предохранительную муфту.

Диск БЗУ вращался с частотой вращения до 8 об./мин (что при радиусе вращающегося диска, на котором расположены карманы, равном 0,228 м, соответствует максимальной окружной скорости, которую можно установить, равной 0,191 м/с).

Значения частоты вращения диска (окружной скорости карманов), при которых проводился эксперимент: 2 об/мин (0,048 м/с), 3 об/мин (0,072 м/с), 4 об/мин (0,095 м/с), 5 об/мин (0,119 м/с), 5,5 об/мин (0,131 м/с), 6 об/мин (0,143 м/с), 6,5 об/мин (0,155 м/с), 7 об/мин (0,167 м/с), 7,5 об/мин (0,179 м/с), 8 об/мин (0,191 м/с). Итого эксперименты проводились при 10 значениях частоты вращения (окружной скорости карманов).

В бункер в процессе эксперимента засыпались заготовки, выставлялось параметры требуемой частоты вращения диска через показания частотного преобразователя; затем диск начинал вращаться. Как только окружная скорость карманов стала постоянной, то при выбранной частоте начинался отчет 60 с. Периодически в бункер подсыпались заготовки для поддержания постоянного одинакового уровня.

На каждом значении частоты вращения диска проводилось по 10 одинаковых опытов, что для данного случая считалось достаточным [31].

Результаты эксперимента были обработаны по известной методике [50, 63] для каждого вида заготовки, приведены в Приложении Г, в котором автоматически рассчитываются окружная скорость карманов, м/с; теоретическая производительность, шт./мин; среднее ее арифметическое значение, шт./мин; вероятность захвата; среднее квадратическое отклонение, шт./мин; дисперсия среднего; коэффициенты вариации и асимметрии, %; доверительный интервал, шт./мин, а также осуществляется проверка по критерию Романовского.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.3 для заготовок вида 2 и в таблице 4.4 для заготовок вида 2. Обозначения параметров: теоретическая производительность (1); среднее ее арифметическое значение (2); вероятность захвата (3); среднее квадратическое отклонение (4); дисперсия среднего (5); коэффициенты вариации (6) и асимметрии (7); доверительный интервал (8).

Таблица 4.3 – Результаты обработки экспериментов
для заготовок типа II вида 2 в программе

Параметр	Номер опыта и значения параметров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	79,55	119,32	159,09	198,87	218,75	238,64	258,53	278,41	298,30	318,19
2	63,10	96,50	132,60	165,60	177,70	197,30	210,50	222,30	234,70	23,00
3	0,793	0,809	0,833	0,833	0,812	0,827	0,814	0,798	0,787	0,764
4	1,91	3,03	4,86	5,83	6,11	6,45	7,06	7,97	8,67	9,40
5	3,66	9,17	23,60	34,04	37,34	41,57	49,83	63,57	75,12	88,
6	3,03	3,14	3,66	3,52	3,44	3,27	3,35	3,59	3,69	3,87
7	-0,06	0,00	-0,07	0,32	0,30	0,21	-0,10	-0,16	-0,68	0,42
8	1,19	1,88	3,01	3,62	3,79	4,00	4,38	4,94	5,37	5,83

Таблица 4.4 – Результаты обработки экспериментов
для заготовок типа II вида 3 в программе

Параметр	Номер опыта и значения параметров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	79,55	119,32	159,09	198,87	218,75	238,64	258,53	278,41	298,30	318,19
2	70,7	100,0	133,5	168,0	180,7	199,6	210,6	226,0	232,0	242,6
3	0,889	0,838	0,839	0,845	0,826	0,836	0,815	0,812	0,778	0,762
4	1,89	2,58	3,03	3,94	4,42	6,08	6,55	6,98	8,34	9,88
5	3,57	6,67	9,17	15,56	19,57	36,93	42,93	48,67	69,56	97,60
6	2,67	2,58	2,27	2,35	2,45	3,04	3,11	3,09	3,59	4,07
7	0,42	0,00	0,00	-0,14	0,01	0,21	0,00	-0,10	0,02	0,09
8	1,17	1,60	1,88	2,44	2,74	3,77	4,06	4,32	5,17	6,12

На следующем этапе необходимо провести верификацию теоретических исследований с экспериментальными.

4.3.3 Верификация теоретических и экспериментальных исследований

С помощью разработанной в компьютерной среде *MathCAD* программы проведем аппроксимацию полученных в ходе эксперимента средних значений вероятности захвата и производительности и сопоставим их с полученными теоретически по выражениям (4.1) и (4.2) значениями.

Для заготовки типа II вида 2 получили программу и результаты сравнения, представленные на рисунке 4.18, а для вида 2 – на рисунке 4.19.

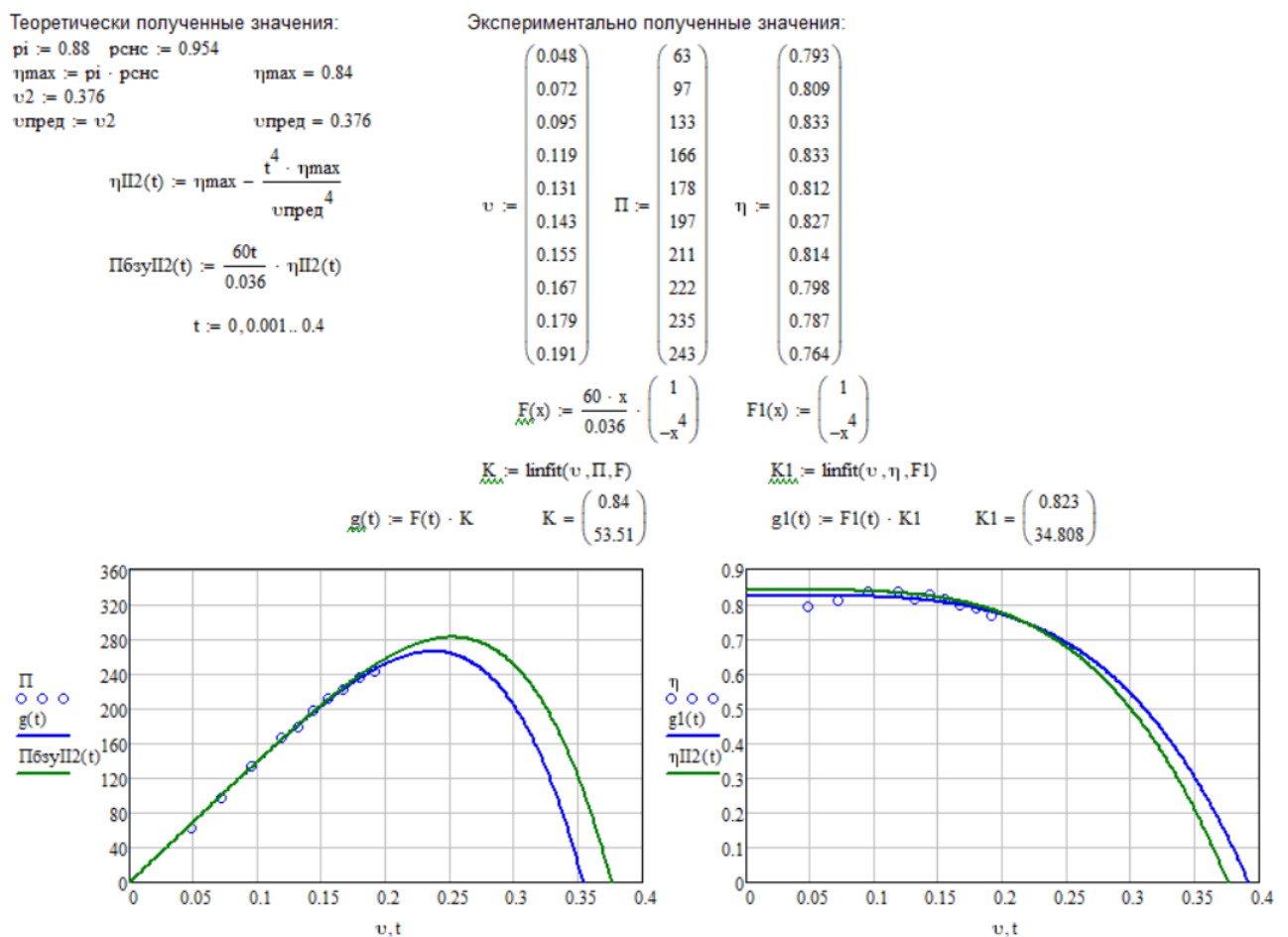


Рисунок 4.18 – Результаты аппроксимации экспериментальных данных и результаты сравнения с теоретически полученными параметрами из разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности для заготовок типа II вида 2

Теоретически полученные значения:

$$p_i := 0.911 \quad p_{cc} := 0.938$$

$$\eta_{\max} := p_i \cdot p_{cc} \quad \eta_{\max} = 0.855$$

$$v_3 := 0.337$$

$$v_{\text{пред}} := v_3 \quad v_{\text{пред}} = 0.337$$

$$\eta_{II2}(t) := \eta_{\max} - \frac{t^4 \cdot \eta_{\max}}{v_{\text{пред}}^4}$$

$$\Pi_{\text{бз}}(t) := \frac{60t}{0.036} \cdot \eta_{II2}(t)$$

$$t := 0, 0.001 \dots 0.4$$

Экспериментально полученные значения:

$$v := \begin{pmatrix} 0.048 \\ 0.072 \\ 0.095 \\ 0.119 \\ 0.131 \\ 0.143 \\ 0.155 \\ 0.167 \\ 0.179 \\ 0.191 \end{pmatrix} \quad \Pi := \begin{pmatrix} 71 \\ 100 \\ 134 \\ 168 \\ 181 \\ 200 \\ 211 \\ 226 \\ 232 \\ 243 \end{pmatrix} \quad \eta := \begin{pmatrix} 0.889 \\ 0.838 \\ 0.839 \\ 0.845 \\ 0.826 \\ 0.836 \\ 0.815 \\ 0.812 \\ 0.778 \\ 0.762 \end{pmatrix}$$

$$F(x) := \frac{60 \cdot x}{0.036} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -x^4 \end{pmatrix} \quad F1(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ -x^4 \end{pmatrix}$$

$$K := \text{linfit}(v, \Pi, F)$$

$$g(t) := F(t) \cdot K \quad K = \begin{pmatrix} 0.859 \\ 71.793 \end{pmatrix}$$

$$K1 := \text{linfit}(v, \eta, F1)$$

$$g1(t) := F1(t) \cdot K1 \quad K1 = \begin{pmatrix} 0.858 \\ 72.552 \end{pmatrix}$$

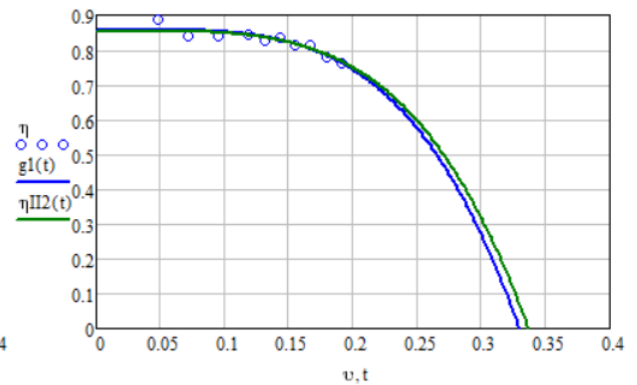
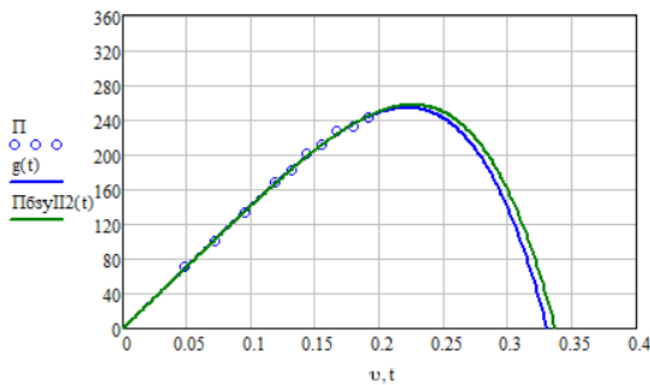


Рисунок 4.19 – Результаты аппроксимации экспериментальных данных и результаты сравнения с теоретически полученными параметрами из разработанных математических моделей вероятности захвата и производительности для заготовок типа II вида 3

На графиках синим цветом показаны аппроксимирующие кривые и экспериментально полученные значения (в форме окружностей) вероятности захвата и производительности, а зеленым – визуализация теоретически разработанных моделей.

Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований для всех видов заготовок типа II показало, что графики вероятности захвата и производительности БЗУ практически совпадают, что свидетельствует о корректности и адекватности разработанных математических моделей. Взаимоцепляемые торцами заготовки имеют более низкую производительность, чем не сцепляемые торцами.

Для заготовок вида 2 максимальные значения производительности находятся в диапазоне 260...280 шт./мин, а для заготовок вида 3 – в диапазоне 240...256 шт./мин.

Расчет отклонений экспериментальных значений вероятности захвата и производительности дискового модернизированного БЗУ со скосами и регулировкой показал, что максимальная разница производительности при окружных скоростях меньших на 10..15 % окружной скорости, при которой производительность БЗУ достигает своих наибольших значений, для заготовок 2 составила менее 1,1 %, а для заготовок 3 – 2,8...4,2 %.

Таким образом, модернизированное БЗУ обладает достаточно высокой производительностью и обоснование вероятности p_i с целью дальнейшей реализации в конструкции БЗУ наиболее благоприятного захвата для полых по торцам заготовок оправдано и подтверждена результатами проведенного экспериментального исследования.

На графиках рисунка 4.20 показана дисперсия среднего значения производительности макета модернизированного БЗУ для каждой экспериментальной заготовки.

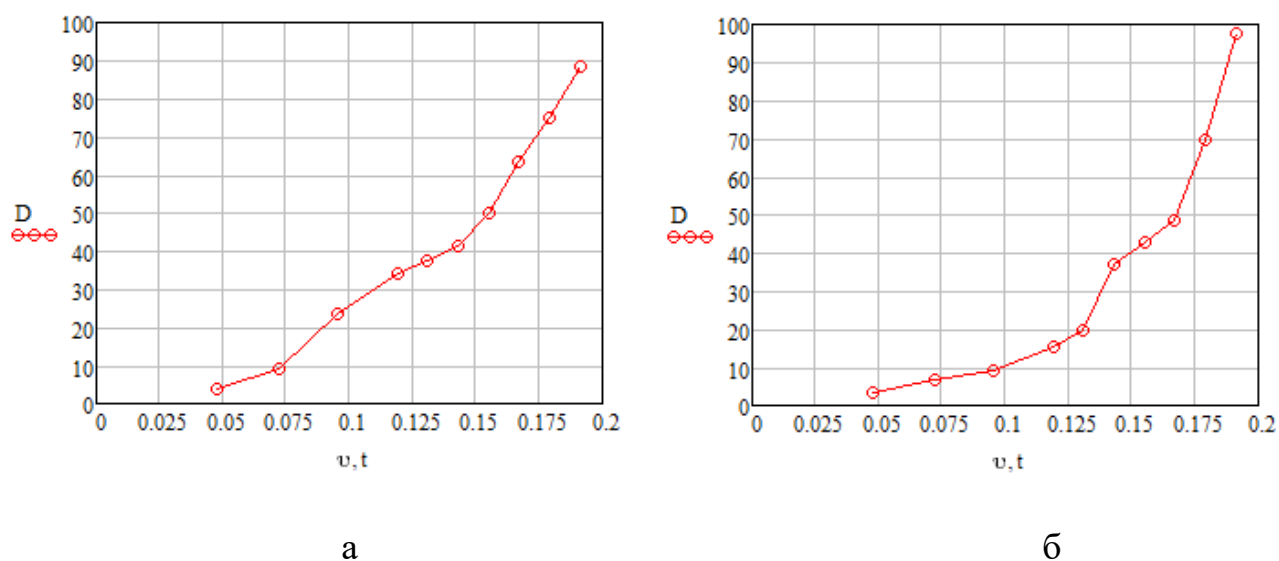


Рисунок 4.20 – Дисперсия среднего значения производительности для заготовок типа II вида 2 (а) и вида 3 (б)

С помощью графиков видно, что чем выше скорость, тем больше разброс значений относительно их среднего уровня, то есть колебания производительности. При этом для заготовок вида 3 значения дисперсии несколько выше при больших значениях окружной скорости, и на графиках видно ее более плавное увеличение на начальном диапазоне окружных скоростей.

Наилучшее соответствие теоретических значений производительности и экспериментальных наблюдается в диапазоне окружных скоростей от 0,01 до 0,19 м/с, что обусловлено возрастающими колебаниями при приближении к окружной скорости, при которой производительность максимальна. Для более стабильной и постоянной производительности рекомендуется вращать диск при окружной скорости, не превышающей 0,18 м/с, что позволит обеспечить производительность модернизированного БЗУ до 235 шт./мин для заготовок вида 2 и до 240 шт./мин для заготовок вида 3.

Это позволит обеспечить или повысить до 240 шт./мин требуемую производительность современного технологического оборудования, в том числе роторного типа, в массовых производствах, а универсальность модернизированного БЗУ дает возможность переналадки размеров органов захвата и ориентирования под различные размеры и смещение центра масс полых по торцам заготовок.

Акт о внедрении модернизированного БЗУ и экономическом эффекте от внедрения на предприятии представлен в Приложении Д.

4.4 Выводы

1 Теоретические исследования легли в основу разработки натурного макета модернизированного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки: в БЗУ был реализован наиболее эффективный способ захвата и ориентирования, геометрические параметры выбраны наиболее оптимальными с точки

зрения обеспечения стабильного функционирования и повышения производительности.

2 Проверка работоспособности и стабильного функционирования макета модернизированного БЗУ по захвату и ориентированию осуществлялась для двух типов заготовок, каждого типа было изготовлено по три вида в зависимости от соотношения $h / d_2 = 1,3$, $h / d_2 = 1,5$ и $h / d_2 = 1,9$. Под каждую заготовку в зависимости от ее центра масс регулировалась высота кармана, таким образом, в одном БЗУ путем регулировки удалось добиться одновременной загрузки достаточно широкого диапазона соотношения h / d_2 – от 1,3 до 1,9. При вращении диска заготовки ворошились на дне бункера. Те заготовки, которые оказывались боковой поверхностью на направляющих скосах, наклонялись тяжелым торцом в сторону кармана и затем западали. Все заготовки, захваченные радиальными карманами, также перемещались к карману и западали в него. Затем все захваченные заготовки направлялись в зону установки планки. Все неправильно запавшие полые по торцам заготовки выпадали из карманов, а правильно запавшие заготовки собачкой удалялись из бункера.

3 Для проведения экспериментов по оценке производительности были отобраны полые по одному торцу заготовки типа II двух видов с $h / d_2 = 1,5$ и $h / d_2 = 1,9$. С помощью разработанных компьютерных программ была определена максимальная теоретическая производительность модернизированного БЗУ – 280 шт./мин для заготовок с $h / d_2 = 1,5$ и 257 шт./мин для заготовок с $h / d_2 = 1,9$ и были получены теоретические зависимости вероятности захвата и производительности от окружной скорости карманов. Эксперимент проводился при десяти значениях окружной скорости и позволил с помощью разработанной компьютерной программы провести аппроксимацию полученных в ходе эксперимента средних значений вероятности захвата и производительности и сопоставить их с полученными теоретическими зависимостями. Расчет отклонений экспериментальных значений вероятности захвата и производительности модернизированного БЗУ показал, что максимальная разница производительности

при окружных скоростях меньших на 10..15 % окружной скорости, при которой производительность БЗУ достигает своих наибольших значений, для заготовок с $h/d_2=1,5$ составила менее 1,1 %, а для заготовок с $h/d_2=1,9$ – 2,8...4,2 %. Наилучшее соответствие теоретических значений производительности и экспериментальных наблюдается в диапазоне окружных скоростей от 0,01 до 0,19 м/с, что обусловлено возрастающими колебаниями при приближении к окружной скорости, при которой производительность максимальна.

4 Анализ дисперсии среднего значения производительности показал, что чем выше скорость, тем больше разброс значений относительно их среднего уровня, то есть колебания производительности. При этом для заготовок с $h/d_2=1,9$ значения дисперсии несколько выше при больших значениях окружной скорости, и на графиках видно ее более плавное увеличение на начальном диапазоне окружных скоростей.

5 Модернизированное БЗУ обладает достаточно высокой производительностью и обоснование вероятности p_i с целью дальнейшей реализации в конструкции БЗУ наиболее благоприятного захвата для полых по торцам заготовок оправдано и подтверждена результатами проведенного экспериментального исследования. Акт о внедрении модернизированного БЗУ и экономическом эффекте от внедрения на предприятии представлен в Приложении Д.

ГЛАВА 5 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ АСИММЕТРИЧНЫХ ЗАГОТОВОК

5.1 Траектория разработки эффективной конструкции устройства для полых по торцам заготовок

При разработке оптимальной по всем параметрам конструкции БЗУ необходимо последовательно осуществить следующую исследовательскую работу по пяти основным направлениям, что в совокупности позволит достигнуть поставленной в работе цели по повышению производительности БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок.

Основные направления траектории разработки оптимального БЗУ представлены на рисунке 5.1.

Первым направлением исследования является выбор типа БЗУ для требуемых для автоматической загрузки заготовок, при котором производительность устройства будет наиболее высокой. Так как одним БЗУ возможно загружать заготовки только одного типа, формы и определенного диапазона соотношений длины (высоты) и наибольшего диаметра, то необходимо проанализировать известные БЗУ и выявить, по какому принципу они работают, какие способы захвата и ориентирования в них реализованы для конкретной заготовки. При этом рассматриваются как традиционные БЗУ, используемые в прошлом веке, так и новые, усовершенствованные в последние десятилетия устройства.

После анализа всех существующих БЗУ нужно рассмотреть возможность автоматической загрузки ими рассматриваемых заготовок, проанализировать возможные проблемы и на основе анализа исключить сразу из рассматриваемых для возможной загрузки те БЗУ, которые не соответствуют требуемым критериям надежности и производительности.

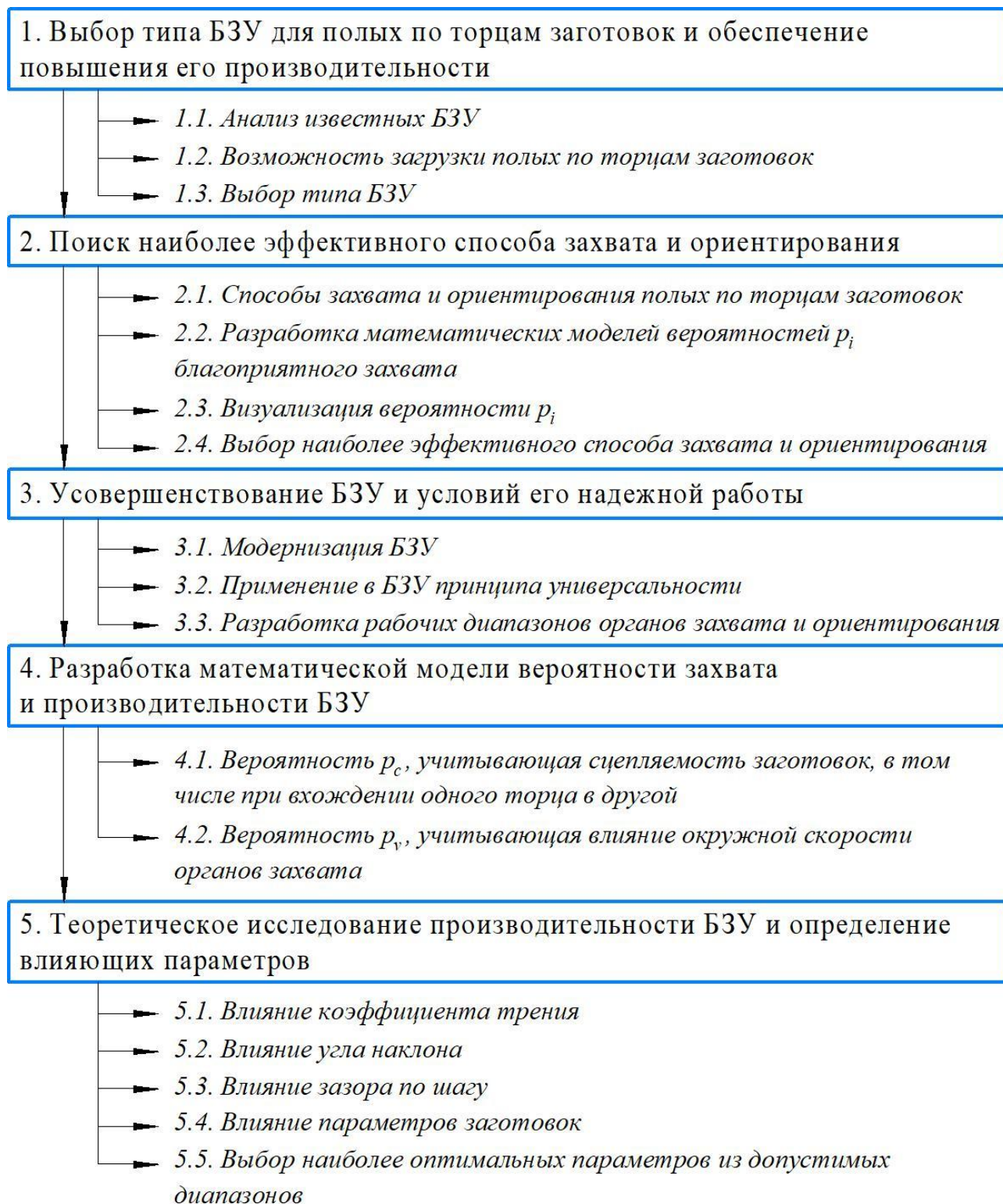


Рисунок 5.1 – Траектория разработки эффективной конструкции БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок

Выбор типа БЗУ для полых по торцам заготовок должен основываться на результатах проведенного анализа с учетом всех возможных проблем и путей их устранения, например, путем модернизации конструкции органов захвата и ориентирования с возможностью как перехода с пассивных способов ориентирования на активные, так и применение мер для применения БЗУ одновременно для нескольких типов, форм и размеров заготовок, то есть переход с уникальности БЗУ на универсальность. Из всех типов БЗУ наиболее благоприятен для рассматриваемых заготовок БЗУ карманчикового типа, в котором органы захвата (карманы) расположены на вращающемся диске.

Вторым направлением исследования является поиск наиболее эффективного способа захвата и ориентирования полых по торцам заготовок в БЗУ. Традиционно считается, например, что для длинных заготовок наиболее благоприятно тангенциальное расположение карманов в БЗУ, а не независимо от соотношения длины (высоты) и диаметра всегда целесообразен активный способ ориентирования. Некоторые исследования показали, что это не всегда так. Например, если перейти с активного способа ориентирования на пассивное, но при этом увеличить размеры кармана, то потери производительности будет минимальными, то есть пассивное ориентирование практически обеспечит те же значения производительности, что и активное [18, 19].

Сначала необходимо рассмотреть все возможные способы захвата и ориентирования, которые существуют и могут быть применены для полых по торцам заготовок. Было выявлено, что захват радиальными карманами на вращающемся диске возможен в положении стоя и в положении лежа, а тангенциальными – только в положении лежа. Ориентирование и при одном, и при другом способах захвата может быть как активным, так и пассивным. Таким образом, было выявлено 5 возможных случаев.

Для каждого из пяти случаев (разные способы захвата и ориентирования) для рассматриваемых четырех типов полых по торцам заготовок необходимо разработать математические модели вероятности p_i , описывающий благоприят-

ятный вариант захвата заготовок из всех возможных, учитывая способ ориентирования.

Наиболее эффективным инструментом анализа разработанных математических моделей является их графическая визуализация, позволяющая определить наиболее эффективный из пяти случаев вариант конструкторских решений по захвату и ориентированию в БЗУ.

Выбранный способ захвата и ориентирования должен быть реализован в БЗУ для полых по торцам заготовок при его модернизации.

Третьим направлением является усовершенствование БЗУ для полых по торцам заготовок и определение условий его надежной и стабильной работы.

При модернизации БЗУ необходимо реализовать выбранный в рамках предыдущего направления способ захвата и ориентирования и обеспечить возможность регулировки органов захвата и ориентирования под разные типоразмеры заготовок, сделав БЗУ универсальным.

Когда определен конструктив БЗУ, необходимо определить диапазоны тех параметров органов захвата и ориентирования, которые влияют на надежность работы БЗУ при загрузке полых по торцам заготовок.

Эти параметры должны быть учтены в дальнейшем при построении и теоретическом исследовании математических моделей вероятности захвата и производительности, то есть при визуализации должны быть исследованы лишь те диапазоны параметров БЗУ, которые укладываются в полученные на данном направлении исследования диапазоны.

Четвертым направлением исследования является разработка математических моделей вероятности захвата η и производительности $\Pi_{\text{БЗУ}}$ модернизированного БЗУ для различных типов полых по торцам асимметричных заготовок.

При этом необходимо получить математическое описание вероятности p_c для учета сцепляемости заготовок, в том числе тех, у которых один из торцов может войти в другой, и вероятность p_v , позволяющей описать влияние

окружной скорости карманов на захват путем описания ее предельного значения $v_{\text{пред}}$ через размеры кармана и параметры заготовок, полых по торцам.

Пятым направлением является теоретическое исследование производительности БЗУ во взаимосвязи с теми параметрами, которые можно при проектировании и при эксплуатации БЗУ скорректировать.

Наиболее влияющими параметрами на процесс захвата заготовок, как правило, является коэффициент трения, угол наклона бункера, геометрия органов захвата (например, зазор по шагу) и заготовок.

С помощью визуализации с применением компьютерных программ выявляются наиболее влияющие факторы (параметры) и тем самым обосновывается их выбор при проектировании и эксплуатации.

5.2 Методика проектирования модернизированного универсального устройства

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований предлагается следующая методика, позволяющая при эксплуатации модернизированного БЗУ обеспечить максимально возможную (или требуемую производственным процессом) производительность при стабильном и надежном функционировании.

Представим данную методику по описанным выше направлениям, начиная со второго, так как первое направление позволяет определить только тип БЗУ (например, дисковое карманчиковое, дисковое щелевое, секторное, ножевое и т.п.).

В рамках **второго направления** исследования рассматриваются все возможные способы захвата и ориентирования, которые могут быть применены в конструкции БЗУ и для каждого случая для всех типов полых по торцам заготовок разрабатываются математические модели вероятности p_i . После этого путем графической визуализации определяются наиболее эффективный вариант конструкторского решения по захвату и ориентированию в БЗУ (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Второе направление исследования и его этапы

В выражении (2.1) именно вероятность p_i определяется способами захвата и ориентирования и, тем самым, играет важную роль при оценке производительности БЗУ.

Самое важное влияние на эту вероятность оказывает геометрия заготовки (форма, размеры, в том числе полости или полостей по торцам) и, тем самым, координата центра ее масс.

Так как каждая заготовка имеет несколько поверхностей, то для начала через теорию вероятностей определяется вероятность лечь на поверхность диска БЗУ каждой из них. При этом сначала эти вероятности определяются по отдельности через характеризующие каждую поверхность заготовки углы $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}, \dots$, а потом вероятности группируются, так как некоторые из них только в совокупности дадут требуемый вариант падения на диск БЗУ и исключать их нельзя.

Для рассматриваемых полых по торцам заготовок четырех типов была проведена следующая группировка при оценивании падения: наименьшим по диаметру торцом вероятностью $p_1 = p_I + p_{IV}$, наибольшим по диаметру торцом вероятностью $p_2 = p_{II}$, боковой поверхностью $p_3 = p_{III} + p_V$.

Определив углы $\delta_I, \delta_{II}, \delta_{III}, \dots$ (формулы 2.2 – 2.5), а затем соответствующие им вероятности $p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$, получены выражения для определения p_1, p_2, p_3 (формулы 2.6 – 2.10).

Для определения координаты центра заготовки, входящей в качестве исходного параметра в формулы (2.2) – (2.10), необходимо определить объемы каждой составной части заготовки (см. рисунок 2.2). Это для каждого типа заготовки в зависимости от внешней формы, переходов одного торца в другой, формы и наличия полостей на одном или каждом из торцов позволило получить выражение для координаты центра масс (формулы 2.11 – 2.14).

Для выбора наиболее эффективного способа захвата и ориентирования в зависимости от их реализации в каждом конкретном типе БЗУ с учетом принятых вероятностей p_1, p_2, p_3 нужно получить для каждого их пяти случаев

«способ захвата» – «способ ориентирования» выражения, описывающие вероятность p_i , где ее значения максимальны $p_{i\max}$ (заготовки в бункере размещаются одним слоем – самая верхняя точка бункера в зоне $\phi_{\text{захв}}$ захвата) и минимальны $p_{i\min}$ (заготовки в бункере размещаются несколькими слоями – самая нижняя точка бункера – центр зоны $\phi_{\text{захв}}$ захвата).

Для каждого из пяти случаев «способ захвата» – «способ ориентирования» выявляется требуемая по захвату поверхность заготовки с характеризующей ее вероятностью p_1 , p_2 или p_3 , что позволит получить выражения для вероятностей $p_{i\max}$ и $p_{i\min}$:

- 1 – «радиально стоя – пассивное» – формулы (2.15), (2.16);
- 2 – «радиально лежа – пассивное» – формулы (2.17), (2.18);
- 3 – «радиально лежа – активное» – формулы (2.19), (2.20);
- 4 – «тангенциально лежа – пассивное» – формулы (2.21), (2.22);
- 5 – «тангенциально лежа – активное» – формулы (2.23), (2.24).

В зависимости от сочетания «способ захвата» – «способ ориентирования» определяется вероятность p_i по выражениям:

- (2.25) для случаев 1, 2, 3 (захват радиальными карманами);
- (2.26) для случаев 4, 5 (захват тангенциальными карманами).

Получив математическое описание вероятности p_i во взаимосвязи с параметрами заготовок и органов захвата и ориентирования для каждого из пяти случаев, с помощью графической визуализации определяется наиболее эффективный способ захвата и ориентирования для полых по торцам заготовок с соотношением высоты к наибольшему диаметру h / d_2 от 1,2 до 20.

Наиболее целесообразно проведение сравнительного анализа для БЗУ с наклонно расположенным диском (угол наклона 45 градусов):

- по соотношению параметров заготовки $h / d_2 = a$ (как данное соотношение влияет на вероятность p_i);
- коэффициент трения μ («заготовка» – «карманы БЗУ»).

Для сравнительного анализа была разработана программа в *MathCAD* для моделирования и оценки значений вероятности p_i всех типов полых по торцам заготовок (приложение А).

Всё вышеперечисленное позволяет выбрать наиболее эффективный способ захвата и ориентирования, которые нужно реализовать при модернизации БЗУ для полых по торцам заготовок.

В рамках **третьего направления** исследования разрабатывается универсальное модернизированное БЗУ и диапазоны его параметров, при которых будет обеспечиваться и захват, и ориентирование полых по торцам заготовок (рисунки 5.3).

В совокупности все эти этапы определяют конструкцию, как стабильно функционирующую.

Рассмотрим методику в рамках третьего направления, которое является не только исследовательским, поскольку на этом этапе проектируются органы захвата и ориентирования.

Основные принципы конструкции модернизированного БЗУ, способы захвата и ориентирования в котором полых по торцам асимметричных заготовок выбраны на основе определения вероятности благоприятного захвата и выбора ее наибольшего значения, заключаются в следующем:

- устройство является универсальным, может перенастраиваться под различные типы заготовок, разной высоты и формы;
- захват заготовок в устройстве карманом осуществляется не только в радиальном направлении со стороны пазов, но и в тангенциальном – со стороны скосов; скосы в устройстве предназначены не для ворошения заготовок, а для направления заготовок в карман, которые заняли по периферии диска наиболее благоприятное положение;
- для полых по торцам асимметричных заготовок, у которых центр масс смещен, карман в верхней части БЗУ становится выше за счет паза в планке, что делает более стабильным ориентирование.

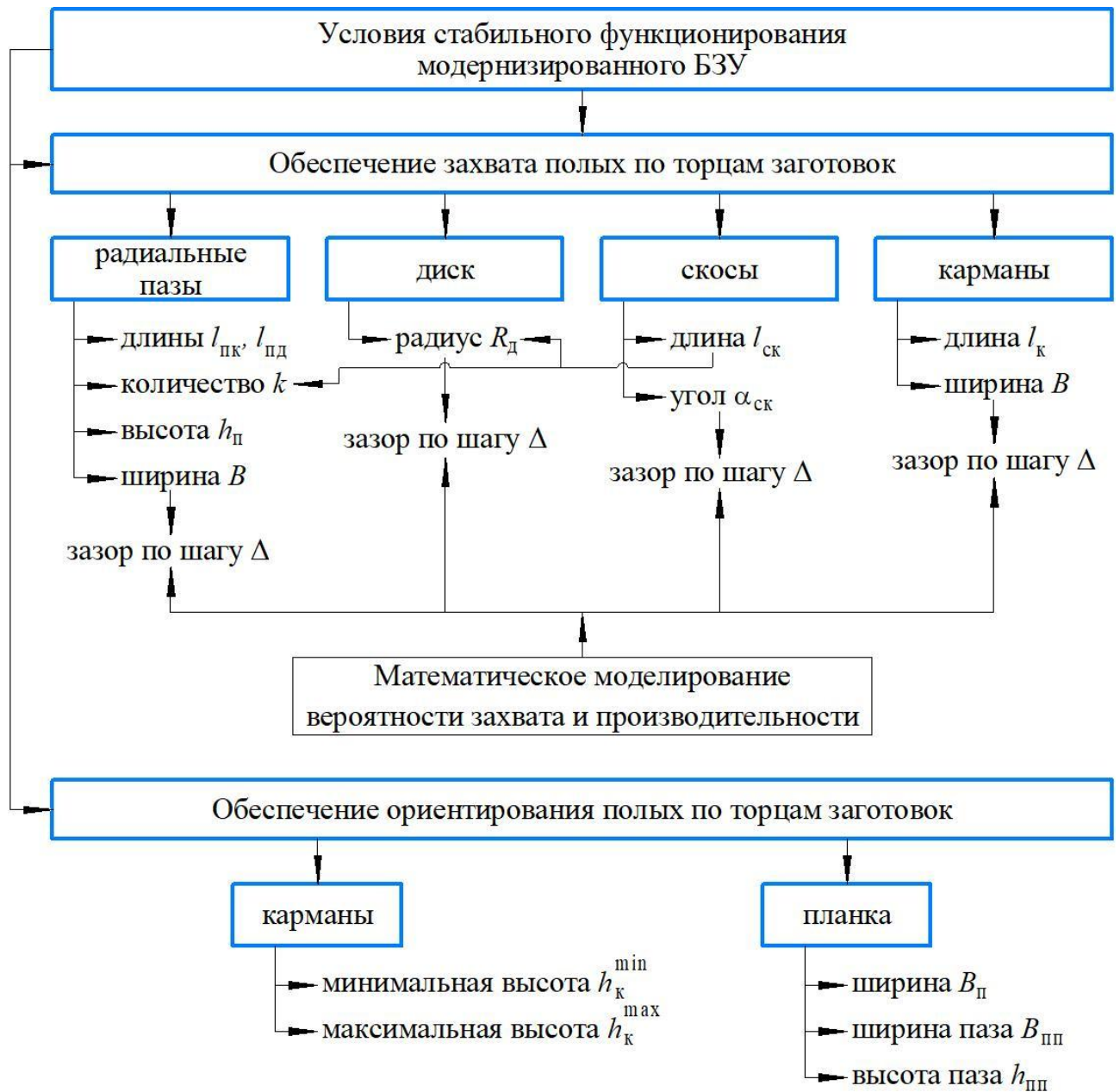


Рисунок 5.3 – Третье направление проектирования-исследования
и его этапы

Для подготовки к захвату и захвата в модернизированном БЗУ имеются радиальные пазы и скосы между карманами. Для обеспечения этих двух процессов конструируются следующие элементы БЗУ по определяемым диапазонам параметров:

- длина $l_{п}$ радиальных пазов должна способствовать наибольшему количеству расположившихся в них заготовок, что обуславливает потребность в

наличии не только длинных длиной $l_{\text{пд}}$ (выражение (3.2)), но и коротких пазов длиной $l_{\text{пк}}$, путем их чередования (выражение (3.1));

- радиус диска $R_{\text{д}}$ должен определяться или исходя из каких-либо ограничений (размер зону его установки в технологическую линию, наличие уже имеющейся станины и привода от другого устройства и т.п.), или из рекомендуемых диапазонов $R_{\text{д}} \approx 5...8 h$;

- количество k радиальных пазов на диске должно быть максимальным (выражение (3.3));

- высота $h_{\text{п}}$ радиальных пазов должна быть такой, чтобы находящуюся в пазу заготовку, при вращении диска и ворошении не вытолкнуло из него, в том числе под действием сверху находившихся заготовок, поэтому при выборе ее величины отталкиваются от минимального размера (выражение (3.4));

- ширина каждого радиального паза ограничивает западание в карман других заготовок, должна быть равна ширине кармана B , зазор по шагу Δ должен быть подобран исходя из условий наиболее высокой вероятности захвата и производительности с помощью разработки математических моделей; ширина паза может быть и больше ширины кармана, но это уменьшит число k радиальных пазов, которые можно разместить на диске, снизив производительность модернизированного БЗУ;

- общая длина $2l_{\text{ск}}$ скосов определяется радиусом вращающегося диска в зоне центра карманов; чем длиннее радиус, тем шире скосы; но так как количество радиальных пазов от увеличения радиуса диска не уменьшится, то целесообразно радиус диска «остановить» на размере скосов $l_{\text{ск}} = 0,5d_2$, что позволит определить и оптимальный радиус диска $R_{\text{д}}$ (выражение (3.5)), и максимальное число карманов k_{max} (выражение (3.6));

- угол скосов $\alpha_{\text{ск}}$, основной задачей которого является его направляющее в карман действие, зависит от размеров заготовок и зазора Δ по шагу (выражение (3.7));

- длина l_k кармана может быть принята по величине его ширине B , что сделает карман на виде сверху равноразмерным; существенное увеличение данного параметра не имеет смысла, так как это «завалит» заготовку и может нарушить в дальнейшем процесс ее ориентирования (выражение (3.8));

Для ориентирования в модернизированном БЗУ имеются регулируемые по высоте карманы и планка в верхней части. Для обеспечения этого процесса конструируются следующие элементы БЗУ:

- высота h_k кармана должна обеспечить правильное ориентирование, то есть находиться в пределах допустимой величины по захвату $h_k^{\min}$ и способствующей выпадению из кармана не так сориентированных заготовок $h_k^{\max}$ (выражение (3.9));

- ширина планки B_{Π} должна быть меньше или равна длине l_k кармана, но больше диаметра наибольшего торца (выражение (3.10));

- ширина паза $B_{\Pi\Pi}$ планки ограничена диаметром наименьшего торца, а ее максимальная величина должна быть меньше диаметра наибольшего торца (выражение (3.11)).

Разработка рабочих диапазонов и соблюдение всех условий и рекомендаций позволит в модернизированном БЗУ выдавать к технологическому оборудованию только правильно сориентированные полые по торцам асимметричные заготовки.

Многие из перечисленных параметров зависят от зазора Δ по шагу в кармане (ширина радиальных пазов, ширина карманов, длина скосов, радиус диска), что требует разработки теоретических моделей вероятности захвата и производительности модернизированного БЗУ.

В рамках **четвертого направления** исследования разрабатываются математические модели вероятности захвата и производительности. В отличие от ранее известных методик [21, 39, 44, 55, 56, 58, 77, 106, 110, 125, 128] при построении математической модели вероятности захвата не разрабатывается теоретическое описание вероятности p_i благоприятного захвата, так как данная

вероятность была определена на ранних этапах проектирования – когда был выбор способа захвата и ориентирования из всех возможных. Однако эта вероятность зависит и от зазора Δ по шагу, поэтому при теоретическом исследовании модернизированного БЗУ она обязательно учтена.

Исходными данными для четвертого направления являются выбранные способы захвата и ориентирования и модернизированное на этом принципе БЗУ для полых по торцам асимметричных заготовок (рисунок 5.4)

Вероятность p_i , учитывающая благоприятные положения заготовок для их захвата на дне бункера, уже определена в рамках второго направления для каждой полой по торцам заготовки.

Вероятность p_c , учитывающая влияние сцепляемости заготовок на захват, должна для полых по торцам заготовок определяться не по упрощенному выражению, так как было визуализировано, что полученные значения сильно разняться.

Вероятность p_c сначала для всех заготовок определяется по описанной ранее известной методике [9, 36, 106], согласно которой сначала определяются площади всех поверхностей заготовок $F_I, F_{II}, \dots, F_{VI}$, а потом их сумма ΣF_i .

Затем составляются схемы возможных сочетаний всех поверхностей попарно друг с другом. При этом рассматриваются, в том числе отдельно, и сочетания поверхностей, когда один торец заготовки может войти в другой торец. Например, заготовки, имеющие полости с одной стороны, имеют по шесть поверхностей (нижняя поверхность полости не контактирует ни с одной поверхностью заготовки, так как глубина полости не позволяет обеспечить контакт, но в то же время для сцепляемых заготовок появляются дополнительные контактирующие полости при вхождении одного торца в другой), то есть $s = 36$.

Каждое сочетание характеризуется суммой площадей сочетаемых поверхностей (например, $F_I + F_{II}$) и углами их поворота ξ_{xi} и ξ_{yi} по каждой из двух осей.

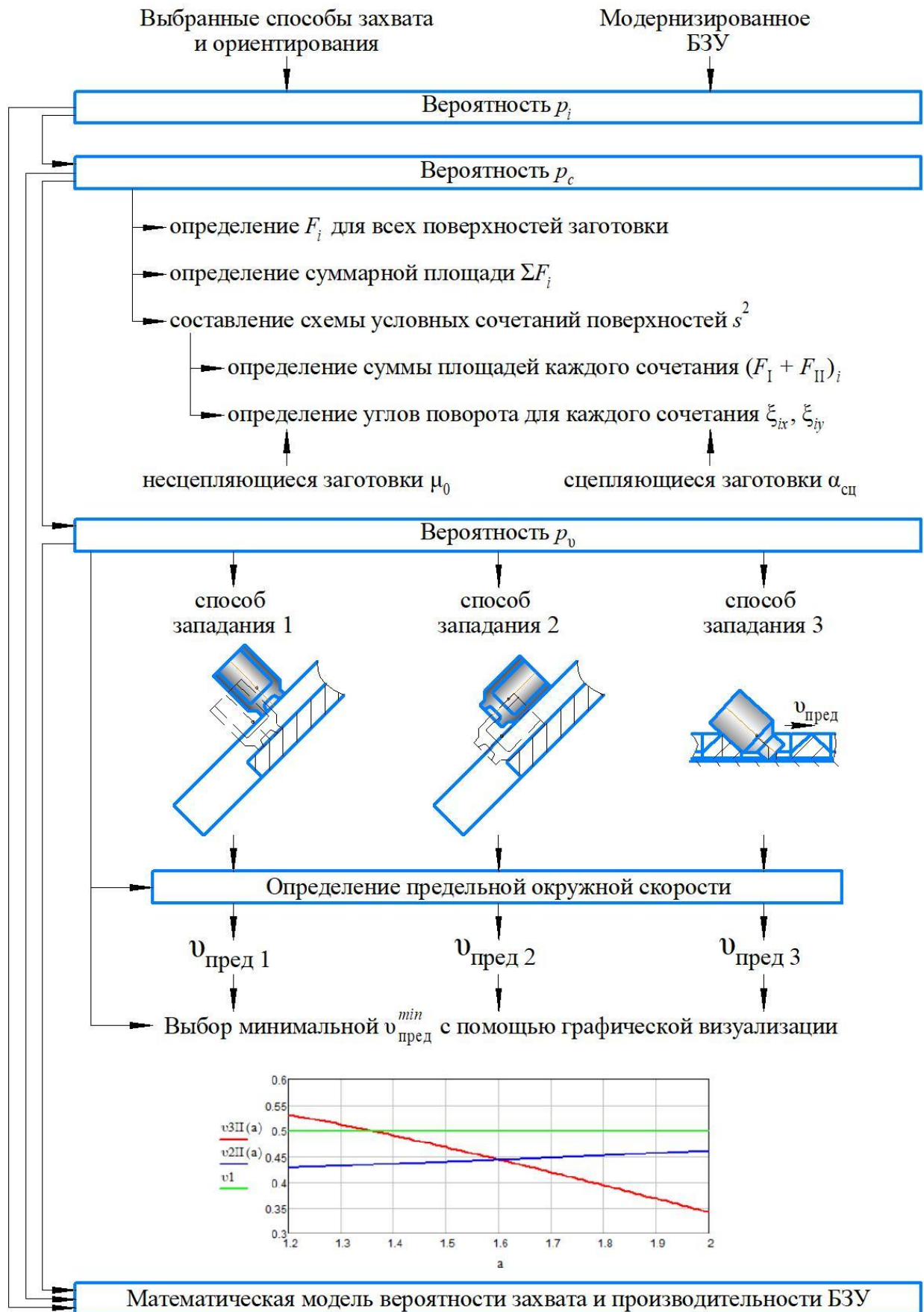


Рисунок 5.4 – Четвертое направление исследования-проектирования
и его этапы

Параметр $\sqrt{\xi_{xi}^2 + \xi_{yi}^2}$ в выражении вероятности p_c определяется для несцепляющихся торцами заготовок коэффициентом трения μ_0 между заготовками, а для сцепляющихся торцами заготовок – углом $\alpha_{сц}$, при котором сцепляющиеся заготовки начнут разъединяться, определяемым из условий статики или экспериментально для каждого случая.

Вероятность p_v , учитывающая влияние окружной скорости карманов на захват заготовок, должна определяться исходя из анализа всех возможных западаний поллой по торцам заготовки в карман.

В модернизированном БЗУ возможны 3 варианта западания: заготовка скользит по радиальному пазу боковой поверхностью (вариант 1); скользит по радиальному пазу основанием I с меньшим диаметром (вариант 2); скользит по скосу диска в тангенциальном направлении (вариант 3).

Для каждого из них была определена предельная окружная скорость по захвату и с помощью графической визуализации для всех типов полых по торцам заготовок показаны значения $v_{пред}$, из которых выбирается минимальное значение в зависимости от соотношения a .

После определения вероятностей p_i , p_c и p_v получаем математическую модель вероятности захвата и производительности модернизированного БЗУ (см. рисунок 5.4).

В рамках **пятого направления** исследования проводятся теоретические исследования вероятности захвата и производительности модернизированного БЗУ, чтобы определить при каких параметрах возможно обеспечение, как требуемых, так и максимальных значений производительности (в зависимости от производительности оборудования и требований производства), и как варьировать параметрами при возникновении потребности в изменении производительности (рисунок 5.5).

Сначала нужно выбрать диапазоны, которыми будем варьировать при исследовании.



Рисунок 5.5 – Пятое направление исследования-проектирования
и его этапы

Ранее проведенные исследования другими авторами показали, что наибольшее влияние на вероятность захвата и производительность оказывают зазор по шагу, соотношение дины (высоты) и наибольшего диаметра, коэффициент трения, угол наклона диска и окружная скорость карманов [18, 19, 103, 112, 114, 127].

Затем осуществляется визуализация разработанных моделей в виде графиков зависимости выходных параметров от входных, на основе которой параметры БЗУ, которые оказывают значительное влияние его на производительность, оптимизируются и выбираются те, которые повышают эффективность БЗУ для дальнейшей их реализации в конструкцию при изготовлении. При этом все конструктивные параметры БЗУ должны быть выбраны исходя из условий стабильной работы при загрузке полых по торцам заготовок, а при конструировании должны учитывать влияние всех приведенных параметров во взаимосвязи друг с другом.

В приложениях А, Б, В приведены соответственно программы для теоретического исследования вероятности благоприятного захвата полых по торцам заготовок, программы для теоретического исследования производительности модернизированного устройства, программы построения математических моделей вероятности захвата и производительности экспериментального макета устройства для двух видов заготовок типа II.

Программы позволяют проводить теоретические исследования, выполнять расчет и осуществлять визуализацию вероятности захвата асимметричных полых по торцам заготовок и производительности модернизированного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовки.

Сначала пользователь в зависимости от целей выбирает одну из трех программ и задает параметры заготовок и БЗУ. Например, если ему нужно моделирование и теоретическое исследование, то необходимо ввести исходные данные в зависимости от каких то параметров и соотношений (рисунок 5.6, а), а если необходимо выполнить расчет, то ввести все параметры БЗУ и полый по торцам заготовки.

Параметры заготовки $d1 := 20$ $d2 := 1.25d1$ $d10 := 0.6d1$ $\Delta := 0.25d2$ $\alpha_d := 45\text{deg}$ $R := 7d2$
 $h(a) := a \cdot d1$ $d2 = 25$ $\Delta k := 0.2d2$
 $h1(a) := \frac{1}{5}(h(a))$ $h2(a) := h(a) - h1(a)$ $g := 9.81$
 $h10(a) := 0.8 \cdot h1(a)$ $h20(a) := 0.85 \cdot h2(a)$

а

Параметры заготовки $d1 := 9$ $d2 := 16$ $d20 := 14$ $\Delta := 0.25d2$ $\alpha_d := 45\text{deg}$ $R := 228$ $\mu := 0.36$ $hp := 8$
 $\frac{h}{d2} = 1.906$ $h := 30.5$ $h1 := 3$ $h2 := 24$ $h20 := 20.5$ $\Delta k := 0.2d2$ $g := 9.81$ $\delta := d2$ $lck := 0.5\delta$ $\alpha_{ck} := 30\text{deg}$
 $B := d2 + \Delta$ $B = 20$

б

Рисунок 5.6 – Ввод исходных данных для исследования (а) и расчета (б)

В зависимости от целей пользователя сначала программа получит выражения (или значения) координаты центра масс заготовки, затем необходимые параметры для получения численных значений всех входящих в математические модели вероятности захвата и производительности коэффициентов (см. приложения Б, В).

При определении вероятности, описывающей влияние сцепляемости, необходимо из трех автоматически рассчитанных программой значений предельных окружных скоростей выбрать минимальное. После этого программа продолжит автоматический расчет (рисунок 5.7) и построит графики зависимости вероятности захвата и производительности от окружной скорости (см. приложения Б, В).

Вероятность P_v

$$\underline{A} := 2 + \frac{2 \cdot \Delta}{d2} \quad B1 := \frac{1}{g \cdot d2 \cdot 10^{-3}} \quad Z := 5 \cdot B1 \cdot B1$$

Вариант западания 1

$$C1 := 1 + \frac{2 \cdot hp}{d2} \quad \underline{Y1} := 4 \cdot A \cdot B1 + 2 \cdot C1 \cdot B1 \quad X1 := A \cdot A + C1 \cdot C1 - 1$$

$$v1 := \sqrt{\frac{Y1 - \sqrt{Y1 \cdot Y1 - 4 \cdot Z \cdot X1}}{2 \cdot Z}} \quad v1 = 0.409$$

Вариант западания 2

$$C2 := \frac{xc}{d2} + \frac{2 \cdot hp}{d2} \quad Y2 := 4 \cdot A \cdot B1 + 2 \cdot C2 \cdot B1 \quad X2 := A \cdot A + C2 \cdot C2 - 1$$

$$v2 := \sqrt{\frac{Y2 - \sqrt{Y2 \cdot Y2 - 4 \cdot Z \cdot X2}}{2 \cdot Z}} \quad v2 = 0.386$$

Вариант западания 3

$$hck := lck \cdot \sin(\alpha ck) \quad a := xc \cdot \cos(\alpha ck) - 0.5 d1 \cdot \sin(\alpha ck)$$

$$\underline{s} := B - d1 - a \quad hk := 7 \quad b := xc \cdot \sin(\alpha ck) + 0.5 d1 \cdot \cos(\alpha ck) \quad \Delta h := hk + 0.5 d2 - b$$

$$v3 := (lck + s) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3}}} \quad v3 = 0.337$$

Выбирается минимальное значение скорости из всех предельных $v3$

$$p_v(v) := 1 - \frac{v^4}{v3^4}$$

Вероятность захвата η и производительность Π

$$v := 0,0005 \dots v3 \quad \eta(v) := \pi \cdot pcc \cdot p_v(v) \quad \Pi(v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta(v)$$

Рисунок 5.7 – Прерывание программы для выбора минимального значения предельной окружной скорости (программа расчета)

Использование программ позволит быстро принять решение о проектировании наиболее производительной конструкции модернизированного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от типа и размеров полых по торцам асимметричных заготовок.

5.3 Выводы

1 Представленные направления разработки БЗУ при автоматической загрузке асимметричных полых по торцам заготовок и описанные в рамках каждого из представленных направлений этапы теоретических исследований, которые необходимо провести, позволят обеспечить максимально возможные значения производительности модернизированного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс заготовок при обеспечении требований надежного и стабильного функционирования.

2 Основу представленной методики составляет подробный анализ на ранних этапах проектирования всех возможных к реализации в БЗУ способов захвата и ориентирования полых по торцам заготовок, построения математических моделей вероятности благоприятного захвата для каждого случая и выбор наиболее эффективного из них, что представлено впервые.

3 Разработанные на всех направлениях проектирования последовательно конструктивные ограничения и математические модели вероятности захвата и производительности, учитывающие параметры заготовок и БЗУ во взаимосвязи, будут способствовать выбору наиболее оптимальных параметров в соответствии с поставленными производством задачами. Описанные этапы должны составить основу методики проектирования любой конструкции БЗУ, что позволит обеспечить максимально возможные показатели их эффективной работы при загрузке широкой номенклатуры асимметричных заготовок.

4 Научно обоснованная методика проектирования модернизированного БЗУ в совокупности с компьютерными программами для расчета и теоретического исследования вероятности захвата и производительности в зависимости от параметров БЗУ и заготовок позволит обеспечить высокую эффективность работы усовершенствованного БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований была поставлена и решена актуальная научная задача по повышению производительности дискового БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения путем реализации наиболее эффективного способа захвата и ориентирования и обоснования рациональных параметров рабочих органов устройства.

1 Разработаны математические модели вероятности благоприятного захвата полых по торцам асимметричных заготовок типа тел вращения, позволяющие обосновать направления модернизации БЗУ, реализовав в нем наиболее производительные способы захвата и ориентирования. Выявлено, что наибольшие значения вероятности достигаются при радиальном расположении карманов в положении заготовок стоя и пассивным их ориентированием.

2 Разработано усовершенствованное дисковое БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок с соотношением высоты и наибольшего диаметра в диапазоне от 1,2 до 2. В модернизированном БЗУ реализованы теоретически обоснованные способы захвата и ориентирования, приводящие к максимальной производительности. Устройство является универсальным; захват заготовок осуществляется не только в радиальном направлении со стороны пазов, но и в тангенциальном – со стороны скосов; ориентирование заготовок, в том числе с неявным смещением центра масс, более стабильно за счет паза в планке.

3 Разработаны конструктивные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования, определяющие в виде диапазонов взаимосвязанных параметров заготовок и БЗУ условия его стабильного функционирования. При исследовании процесса захвата были определены допустимые параметры радиальных пазов, направляющих скосов, диска, карманов, а при исследовании про-

цесса ориентирования – допустимые параметры кармана и планки. Соблюдение полученных условий позволит усовершенствованному БЗУ выдавать к технологическому оборудованию только правильно сориентированные полые по торцам заготовки, обеспечив тем самым стабильность при работе.

4 Разработаны математические модели вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ, учитывающие влияние на процесс захвата геометрических параметров заготовок, их сцепляемости и коэффициента трения между ними во взаимосвязи с конструктивными и кинематическими параметрами БЗУ и коэффициентом трения между заготовками и элементами БЗУ, способа западания в карманы заготовок из радиальных пазов и со стороны направляющих скосов. Теоретические исследования показали, что в усовершенствованном БЗУ уменьшение длины направляющего скоса между карманами диска с 0,5 до 0,45 наибольшего диаметра при зазоре по шагу, равном 0,1 наибольшего диаметра приведет к повышению производительности с 205 до 230 шт./мин; наибольшая производительность достигается при зазоре по шагу, равном 0,25 наибольшего диаметра и составляет до 225 шт./мин.

5 Проверка работоспособности и стабильного функционирования, осуществленные на экспериментальном натурном макете модернизированного БЗУ для двух типов заготовок, каждого из которых было изготовлено по три вида с соотношениями $h/d_2 = 1,3$, $h/d_2 = 1,5$ и $h/d_2 = 1,9$, показали реализацию захвата со стороны радиальных пазов и скосов, и пассивного ориентирования всех заготовок с помощью планки. Проверка адекватности разработанных математических моделей для двух видов заготовок показала, что максимальная разница между теоретическими и экспериментальными значениями производительности при окружных скоростях меньших на 10..15 % окружной скорости, при которой производительность БЗУ достигает своих наибольших значений, для заготовок с $h/d_2 = 1,5$ составила менее 1,1 %, а для заготовок с $h/d_2 = 1,9$ – 2,8...4,2 %, а ее значения составили соответственно 280 и 257 шт./мин. Анализ дисперсии среднего значения производительности показал, что чем выше окружная скорость карманов, тем больше колебания производительности.

6 Разработана методика проектирования и обоснования эффективной конструкции усовершенствованного БЗУ для различных типов полых по торцам асимметричных заготовок, позволяющая обеспечить максимально возможные значения производительности при обеспечении требований надежного и стабильного функционирования. Основу методики составляет анализ на ранних этапах проектирования всех возможных к реализации в БЗУ способов захвата и ориентирования заготовок, построения математических моделей вероятности благоприятного захвата для каждого случая и выбор наиболее эффективного.

7 Разработаны компьютерные программы для расчета и теоретического исследования вероятности захвата и производительности усовершенствованного БЗУ в зависимости от его параметров и параметров загружаемых полых по торцам асимметричных заготовок, позволяющие спроектировать наиболее производительное БЗУ, скорректировав те параметры, которые оказывают наибольшее влияние на вероятность захвата и производительность.

8 Научно обоснованная методика проектирования и усовершенствованная конструкция универсального БЗУ для асимметричных заготовок с внутренними полостями по торцам, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований, используются на предприятии АО «Тульский патронный завод», а их внедрение в производство позволило достичь экономического эффекта в размере 1,18 млн руб. в год, что подтверждается соответствующим актом.

Полученные при выполнении диссертации результаты рекомендуется использовать при проектировании дисковых БЗУ с направляющими скосами и возможностью регулировки высоты карманов в зависимости от расположения центра масс полых по торцам асимметричных заготовок с соотношением высоты и наибольшего диаметра от 1,2 до 2 для повышения производительности.

Перспективой дальнейшей разработки темы диссертации являются разработка математических моделей процессов пассивного ориентирования заготовок и их выдачи из карманов в накопитель, что позволит определить ограничивающие данные процессы окружные скорости карманов и предусмотреть способы их повышения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Benhabib B. Manufacturing Design, Production, Automation and Integration. – Marcel Dekker, Inc., 2003. –587 p.
2. Boothroyd G. Assembly Automation and Product Design / Second Edition. – CRC Press, Taylor & Francis Group. – 2005. – 536 p.
3. Ghosh, S. and Singh, S.P. Assembly Line – Theory and Practice. Rijeka, Croatia: intech Europe. – 2011. – 250 p.
4. Groh W. Das Ordnen von Massanteilen und ihre selbsttatige Zufuhrung in die Werkzeugmaschine // Werkstattstchnik und Maschinenbau. – 1957. – № 8. – P. 402–410.
5. Hesse S., Zapf H. Verkettungseinrichtungen in der Fertigungstechnik. – Berlin: Verlag Technik, 1970. –188 p.
6. Murch L.E., Boothroyd G, Poli C. Feeding small parts for assembly // American Machinist. – October, 1975. – P. 106–110.
7. Pantyukhina E. V., Preis V. V., Puzikov I. V., Dyakova E.V. Results of a theoretical and experimental research of a vertical hopper feeding device with rollers for flat and close-to-equal-sized parts with implicit asymmetry// IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conference Series. – 2021 1901 (2021) 012017.
8. Pantyukhina E. V., Puzikov I. V., Erzin O.A. Scientific basis of design of automatic hopper feeding device for three-piece caps // Lecture Notes in Mechanical Engineering: Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2023), Sochi, Russia, 2023. – P. 661–670.
9. Pantyukhina E.V. Integrated approach methodology for evaluating the feed rate of mechanical disk hopper-feeding devices // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1546 (2020) 012024.
10. Pantyukhina E.V., Preis V.V., Khachaturian A.V. Feed rate evaluation of mechanical toothed hopper-feeding device with ring orientator for parts, asymmetric at the ends // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1260. – 2019. – P. 032032.

11. Sandier B.Z. Robotics: designing the mechanisms for automated machinery. 2nd ed. San Diego, California, USA: ACADEMIC PRESS. – 1999. – 433 p.

12. Автоматизация дискретного производства / Б.Е. Бонев [и др.]; под общ. ред. Е.И. Семенова, Л.И. Волчкевича. – М.: Машиностроение, 1987. – 376 с.

13. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.

14. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.]; под общ. ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

15. Автоматические линии роторного типа / Л.Н. Кошкин и др. – Тула: ЦБТИ, 1961. – 198 с.

16. Артоболевский, И.И. Теория механизмов / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1967. – 719 с.

17. Артоболевский, С.И. Технологические машины-автоматы / С.И. Артоболевский. – М.: Машиностроение, 1964. – 179 с.

18. Бахно, А.Л. Результаты сравнения вероятности захвата асимметричных заготовок в дисковых бункерных загрузочных устройствах при различных способах захвата и ориентирования / А.Л. Бахно, С.А. Васин // Сборник трудов Национальной научно-технической конференции с международным участием «Традиции и инновации в области автоматизации технологических машин, систем и процессов», посвященной 120-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора В.Ф. Прейса, 14 мая 2026 года. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2026. – С. 28–34.

19. Бахно, А.Л. Результаты сравнительного анализа вероятности захвата асимметричных заготовок и производительности бункерных загрузочных устройств при различных способах захвата и ориентирования / А.Л. Бахно,

С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28. – № 1. – С. 150–156.

20. Бахно, А.Л. Концептуальные подходы для математического описания вероятности захвата штучных заготовок в механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / А.Л. Бахно // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 4. – С. 240–250.

21. Бахно, А.Л. Направления проектирования механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для заготовок различных типоразмеров / А.Л. Бахно, И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 12. – С. 508–514.

22. Бахно, А.Л. Теоретическое исследование влияния способа ориентирования асимметричных заготовок на производительность механических дисковых зубчатых бункерных загрузочных устройств / А.Л. Бахно, Е.В. Пантюхина, С.А. Васин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 6. – С. 182–187.

23. Белякова, А.Н. Исследование производительности дисковых и трубчатых автоматических бункерных захватно-ориентирующих устройств (АБЗОУ): дисс. ... канд. техн. наук: № 198: / А.Н. Белякова – Тула, 1969. – 220 с.

24. Бобров, В.П. Транспортные и загрузочные устройства автоматических линий/ В.П. Бобров, Л.И. Чеканов – М.: Машиностроение, 1980. – 159 с.

25. Богодяж, А.Е. Автоматизация процесса загрузки полых по торцам заготовок в механических дисковых бункерных загрузочных устройствах / А.Е. Богодяж, Е.В. Пантюхина // Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции (26 – 28 ноября 2025 г.), Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева»; редкол.: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2025. – С. 355–358.

26. Богодяж, А.Е. Анализ взаимосвязанного влияния параметров асимметричных по торцам заготовок и механических дисковых бункерных загрузочных устройств на вероятность захвата / А.Е. Богодяж, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 12. – С. 580–586.

27. Богодяж, А.Е. Взаимосцепляемость заготовок при описании вероятности их захвата в механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / А.Е. Богодяж, Е.В. Пантюхина // Вестник ТулГУ «Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. научных трудов Национальной научно-техн. конференции с международным участием: АПИР-30», 10 октября 2025 года. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2025. – С. 62–66.

28. Богодяж, А.Е. Обзор и направления исследований в области автоматической загрузки полых по торцам асимметричных заготовок тел вращения в оборудование массовых производств / А.Е. Богодяж, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 7. – С. 265–276.

29. Богодяж, А.Е. Особенности разработки универсальных усовершенствованных карманчиковых дисковых бункерных загрузочных устройств для асимметричных заготовок тел вращения / А.Е. Богодяж // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 4. – С. 270–277.

30. Богодяж, А.Е. Разработка бункерного загрузочного устройства для асимметричных заготовок на основе результатов теоретического исследования вероятности благоприятного захвата / А.Е. Богодяж, И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 8. – С. 12–20.

31. Бойко, А.Ф. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов / А.Ф. Бойко, Е.Ю. Кудеников // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 8. – С. 128–132.

32. Борисов, А.А. Математическая модель и теоретическое исследование производительности бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным диском и тангенциальными карманами для сложных ступенчатых заготовок / А.А. Борисов, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 551–557.

33. Борисов, А.А. Механические дисковые бункерные загрузочно-ориентирующие устройства для стержневых ступенчатых заготовок / А.А. Борисов // В сборнике: Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения. Сборник научных трудов Национальной научно-технической конференции с международным участием. – Тула, 2024. – С. 98–102.

34. Борисов, А.А. Универсальные конструкции механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для асимметричных по торцам заготовок тел вращения / А.А. Борисов, Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.С. Клентак // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 6 (122). – С. 109–117.

35. Буров, П.И. Расчет производительности рабочих машин / П.И. Буров, И.И. Капустин. – М.: Машгиз, 1958. – 546 с.

36. Васин, С.А. Методика определения вероятности захвата асимметричных деталей формы тел вращения в дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2023. – № 3. – С. 64–88.

37. Васин, С.А. Методологический подход к исследованию и проектированию механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств / С.А. Васин, С.Н. Шевченко, Е.В. Пантюхина, А.А. Маликов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 1 (117). – С. 70–75.

38. Васин, С.А. Обеспечение надежности при автоматизации процессов загрузки штучных деталей формы тел вращения с неявной асимметрией в автоматическое оборудование / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Тульского государственного университета. Проблемы и перспективы развития автоматизации технологических процессов: сб. научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения лауреата Государственной премии СССР, д.т.н., проф. Дмитриева Л.Б., 23 июня 2023 года. – Тула, 2023. – С. 203–207.

39. Васин, С.А. Основные направления проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств для асимметричных деталей формы тел вращения / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 8–15.

40. Васин, С.А. Разработка конструктивных ограничений на параметры усовершенствованных дисковых бункерных загрузочных устройств для деталей с неявной асимметрией / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2. – С. 146–154.

41. Васин, С.А. Разработка ограничений на параметры органов захвата и ориентирования усовершенствованного универсального бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным диском и тангенциальными карманами для стержневых ступенчатых заготовок / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина, А.А. Борисов, А.А. Маликов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 3 (125). – С. 163–170.

42. Васин, С.А. Теоретическое и экспериментальное исследование производительности зубчатого бункерного загрузочно-ориентирующего устройства для асимметричных деталей тел вращения / С.А. Васин, С.Н. Шевченко, Е.В. Пантюхина, С.А. Лукин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 26, № 1, 2024. – С. 63–69.

43. Васин, С.А. Теоретическое исследование влияния способа ориентирования асимметричных заготовок на производительность бункерных

загрузочных устройств с тангенциальными карманами / С.А. Васин, А.Л. Бахно, Е.В. Пантюхина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 6. – С. 188–193.

44. Васин, С.А. Этапы проектирования дисковых бункерных загрузочных устройств для асимметричных предметов обработки формы тел вращения / С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 145–149.

45. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

46. Владзиевский, А.Н. Автоматические линии в машиностроении / А.Н. Владзиевский. – М.: Машгиз, 1958. – 760 с.

47. Волчкевич, Л.И. Комплексная автоматизация производства / Л.И. Волчкевич, М.П. Ковалев, М.М. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

48. Волчкевич, Л.И. Надежность автоматических линий / Л.И. Волчкевич. – М.: Машиностроение, 1989. – 308 с.

49. Гринштейн, Я.Г. Системы питания автоматов в приборостроении / Я.Г. Гринштейн, Е.Г. Вайсман. – М.: Машиностроение, 1966. – 180 с.

50. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р.С. Гутер. – М.: Наука, 1970. – 432 с.

51. Давыдова, Е.В. Автоматическая загрузка стержневых предметов обработки с неявно выраженной асимметрией по торцам / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – 112 с.

52. Давыдова, Е.В. Математическая модель производительности механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с параметрическими отказами / Е.В. Давыдова, А.В. Дружинина, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – № 10. – 2015. – С. 11–15.

53. Давыдова, Е.В. Механические бункерные загрузочные устройства в пищевой промышленности: под науч. ред. В.В. Прейса / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 168 с.

54. Давыдова, Е.В. Развитие теории производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Производительность и надежность технологических систем в машиностроении: сб. науч. трудов Международной научно-техн. конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д-ра техн. наук, проф. Волчкевича Л.И., 20–23 мая 2015 года в г. Москве, МГТУ им. Н.Э. Баумана; под науч. ред. В.В. Прейса и И.Л. Волчкевича. М.; Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С. 88–92.

55. Давыдова, Е.В. Теоретические основы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – № 7. – С. 8–14.

56. Давыдова, Е.В. Теоретические основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 7–1. – С. 10–20.

57. Дьякова, Э.В. Автоматическая загрузка равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями / Э.В. Дьякова // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021. Издательство: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина. Рязань. – 2021. – С. 101–104.

58. Дьякова, Э.В. Алгоритм расчета и проектирования бункерных загрузочных устройств для деталей формы тел вращения с асимметрией по торцам / Э.В. Дьякова, И.В. Пузиков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 12. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 133–137.

59. Дьякова, Э.В. Конструктивные ограничения на параметры бункерного загрузочного устройства для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания /

Э.В. Дьякова, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 65-69.

60. Дьякова, Э.В. Обеспечение основных показателей качества бункерных загрузочных устройств при загрузке деталей с асимметрией по торцам / Э.В. Дьякова, Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте: Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Вологда, 08 декабря 2022 года / Ответственный редактор В.А. Раков. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 32–36.

61. Дьякова, Э.В. Разработка конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов дискового бункерного загрузочного устройства для асимметричных деталей, близких к равноразмерным / Э.В. Дьякова, Е.В. Пантюхина // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – Санкт-Петербург: НИЦ МС. – 2023. – № 20. – С. 125–130.

62. Дьякова, Э.В. Способы ориентирования близких к равноразмерным деталей с асимметрией по торцам в механических бункерных загрузочных устройствах / Э.В. Дьякова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 10. – С. 105–110.

63. Информационно-статистические методы в технологии машиностроения: Пособие по обработке результатов эксперимента / В.Г. Григорович, В.Я. Кершенбаум, Д.А. Козочкин и др. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. – 184 с.

64. Камышный, Н.И. Автоматизация загрузки станков / Н.И. Камышный. – М.: Машиностроение, 1977. – 287 с.

65. Камышный, Н.И. Механизмы питания автоматических станков / Н.И. Камышный. – М.: Машгиз, 1951. – 260 с.

66. Камышный, Н.И. Проблемы теории автоматической загрузки станков и прессов штучными заготовками / Н.И. Камышный // Теория машин автоматического действия и теория точности в машиностроении и

приборостроении / Н.И. Камышный, М.В. Медвидь, В.Ф. Прейс. – М.: Машгиз, 1960. – С. 2–71.

67. Капустин, И.И. Устройства и механизмы автоматических сборочных машин / И.И. Капустин, Д.Я. Ильинский. – М.: Машиностроение, 1968. – 260 с.

68. Классификатор ЕСКД. Детали – тела вращения. Классы 71-74. – М.: Стандарты, 1985. – 50 с.

69. Клентак, А.С. Техничко-экономический анализ автоматической загрузки универсальными дисковыми бункерными загрузочно-ориентирующими устройствами изделий патронного производства / А.С. Клентак, Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 10. – С. 9–13.

70. Клусов, И.А. Проектирование роторных машин и линий / И.А. Клусов. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

71. Клусов, И.А. Технологические системы роторных машин / И.А. Клусов. – М.: Машиностроение, 1976. – 232 с.

72. Кордонский, Х.Б. Применение теории вероятностей в инженерном деле / Х.Б. Кордонский. – М.: Физматгиз, 1963. – 435 с.

73. Кошкин, Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии: 3-е изд. перераб. и доп. / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 400 с.

74. Крагельский, И.В. Коэффициенты трения. Справочное пособие / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 220 с.

75. Лукин, С.А. Автоматическая загрузка штучных заготовок в патронном производстве / С.А. Лукин, С.А. Васин // Сб. тр. 60-й Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием: сборник докладов в 2 ч. / под ред. д-ра техн. наук М.С. Воротилина. – Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2024. – С. 143–148.

76. Лукин, С.А. Математическая модель вероятности захвата стержневых заготовок в форме колпачка в бункерном загрузочном устройстве с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 3–10.

77. Лукин, С.А. Методика проектирования универсального механического дискового бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором для заготовок тел вращения в форме колпачка / С.А. Лукин, С.А. Васин, Е.В. Пантюхина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 36–43.

78. Лукин, С.А. Особенности разработки конструктивных ограничений на органы захвата и ориентирования универсальных механических дисковых бункерных загрузочных устройств / С.А. Лукин, А.А. Борисов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 10. – С. 19–24.

79. Лукин, С.А. Подходы для математического описания вероятности захвата штучных заготовок в механических дисковых бункерных загрузочных устройствах / С.А. Лукин, Е.В. Пантюхина // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, 29-30 ноября 2023 г., Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2023. – С. 384–391.

80. Лукин, С.А. Разработка и математическое моделирование конструктивных ограничений на органы захвата и ориентирования бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 98–103.

81. Лукин, С.А. Экспериментальные исследования производительности бункерного загрузочного устройства с зубьями и регулируемым ориентатором / С.А. Лукин, Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 16–21.

82. Лялин, В.М. Учет влияния на качество тонкостенных замкнутых оболочек технологических параметров вытяжки-обжима / В.М. Лялин, Е.М. Баранова, О.В. Пантюхин // Известия ТулГУ. Серия «Актуальные задачи механики». – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – С. 55–59.

83. Лялин, В.М. Экспериментальное исследование двухстороннего полугорячего выдавливания из проволочных заготовок / В.М. Лялин, О.В. Пантюхин // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – Вып.7. – Ч.2. – С. 246–251.

84. Малов, А.Н. Автоматическая загрузка металлорежущих станков / А.Н. Малов. – М.: МАШГИЗ, 1955. – 400 с.

85. Малов, А.Н. Загрузочные устройства для металлорежущих станков / А.Н. Малов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 400 с.

86. Медвидь М.В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства/ М.В. Медвидь. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.

87. Меламед, Г.И. Производительность и эффективность автоматических линий / Г.И. Меламед. – Минск: Беларусь, 1972. – 192 с.

88. Пантюхин, О.В. Разработка методологии управления качеством продукции ответственного назначения на основе цифровых двойников технологических процессов и изделий (на примере изготовления гильз для высокоэффективных патронов) : специальность 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пантюхин Олег Викторович; Тульский государственный университет. – Тула, 2021. – 272 с.

89. Пантюхин, О.В. Учет влияния параметров оборудования на качество изготовления гильз патронов спортивно-охотничьих / В.М. Лялин, О.В. Пантюхин, Н.А. Тарасова // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – Вып.1. – С. 212–215.

90. Пантюхин, О.В. Цифровой двойник технологического процесса изготовления изделий специального назначения / О.В. Пантюхин, С.А. Васин // Станкоинструмент. – 2021. – № 1. – С. 56–58.

91. Пантюхина, Е.В. Варианты расчета вероятности отсутствия помех от взаимосцепляемости деталей при захвате / Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 8. – С. 348–352.

92. Пантюхина, Е.В. Верификация теоретического подхода к математическому моделированию производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2022. – № 1 (76). – С. 73–79.

93. Пантюхина, Е.В. Математическое моделирование геометрических параметров органов захвата и ориентирования дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными карманами и кольцевым ориентатором / Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 135–140.

94. Пантюхина, Е.В. Математическое моделирование геометрических параметров органов захвата и ориентирования дискового бункерного загрузочного устройства с зубьями и кольцевым ориентатором / Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 141–144.

95. Пантюхина, Е.В. Методология комплексного подхода для оценки производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Пантюхина // Материалы IV Международной научно-технической конференции в г. Омск; науч. ред. П.Д. Балакин. – 2020. – С. 380–388.

96. Пантюхина, Е.В. Методология обеспечения качества изделий в форме колпачка, близких к равноразмерным / Е.В. Пантюхина, А.Е. Богодяж, С.А. Васин, А.Л. Бахно // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2025. – Т. 23. – № 4. – С. 147–155.

97. Пантюхина, Е.В. Механические бункерные загрузочные устройства для элементов патронов стрелкового оружия с неявной асимметрией / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс // Инновационные технологии и технические средства специального назначения: тр. XII общероссийской научно-

практической конференции: в 3 т. Сер. «Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ». – Санкт-Петербург. – 2020. – С.79–85.

98. Пантюхина, Е.В. Научные основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств для деталей с неявной асимметрией по торцам / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс // Современные технологии сборки: материалы VII Международного научно-технического семинара. – М., 2021. – С. 111–120.

99. Пантюхина, Е.В. Обеспечение надежного ориентирования асимметричных деталей формы тел вращения в дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройствах / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, О.В. Пантюхин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2024. – Т. 22. – № 1. – С. 132–142.

100. Пантюхина, Е.В. Основные этапы параметрического синтеза механических дисковых бункерных загрузочных устройств для деталей с неявной асимметрией / Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Современные технологии сборки: Материалы VIII Международного научно-технического семинара, Москва, 19–20 октября 2023 года. – Москва: Московский Политех, 2023. – С. 99–106.

101. Пантюхина, Е.В. Пассивное ориентирование деталей в механическом дисковом бункерном загрузочном устройстве с кольцевым ориентатором и радиальными пазами / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс, О.В. Пантюхин // Динамика систем, механизмов и машин. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 73–83.

102. Пантюхина, Е.В. Повышение надежности и производительности дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств для асимметричных деталей тел вращения / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, С.Н. Шевченко, С.А. Лукин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 2. – С. 110–116.

103. Пантюхина, Е.В. Применение статистических методов для оценки производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств для штучных заготовок / Е.В. Пантюхина, О.В. Пантюхин,

С.А. Васин, А.А. Борисов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2024. – № 4 (366). – С. 132–138.

104. Пантюхина, Е.В. Проблемы автоматической загрузки асимметричных полых по торцам заготовок тел вращения / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.Е. Богодяж, А.Л. Бахно // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 5 (127). – С. 124–128.

105. Пантюхина, Е.В. Проблемы автоматической загрузки деталей формы тел вращения с неявной асимметрией традиционными загрузочными устройствами / Е.В. Пантюхина // Современные технологии в науке и образовании – СТНО–2021: сборник тр. IV Международного научно-технического форума: в 10 т. Т. 6. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021. – С. 95–101.

106. Пантюхина, Е.В. Проектирование механических дисковых бункерных загрузочных устройств для предметов обработки формы тел вращения с неявной асимметрией / Е.В. Пантюхина. – Тула, 2024. – 228 с.

107. Пантюхина, Е.В. Пути совершенствования механических дисковых бункерных загрузочных устройств для асимметричных заготовок / Е.В. Пантюхина, А.Е. Богодяж // В сборнике: 62-я Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием. Сборник докладов. В 2-х частях. Тула, 2026. – С. 453–457.

108. Пантюхина, Е.В. Развитие теории механических бункерных загрузочных устройств для элементов патронов стрелкового оружия (к 115-летию со дня рождения В.Ф. Прейса) / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс, Н.А. Усенко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сборник научных трудов Национальной научно-технической конференции «АПИР-26». – Тула, 2021. – С. 3–11.

109. Пантюхина, Е.В. Разработка конструкции механического бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным диском и тангенциальными карманами для стержневых ступенчатых заготовок /

Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.А. Борисов, А.А. Маликов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 3 (125). – С. 156–162.

110. Пантюхина, Е.В. Разработка методики проектирования универсального бункерного загрузочно-ориентирующего устройства с наклонным диском и тангенциальными карманами для стержневых ступенчатых заготовок / Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, А.А. Маликов, А.А. Борисов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 3 (125). – С. 171–178.

111. Пантюхина, Е.В. Разработка программного обеспечения для расчета фактической производительности бункерных загрузочных устройств для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 9. – С. 433–441.

112. Пантюхина, Е.В. Результаты моделирования производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными карманами / Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Сборник научных трудов Национальной научно-технической конференции с международным участием, Тула, 13–15 ноября 2023 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2023. – С. 115–122.

113. Пантюхина, Е.В. Сравнительный анализ производительности механических дисковых бункерных загрузочных устройств при активном и пассивном способах ориентирования асимметричных деталей / Е.В. Пантюхина, И.В. Пузиков // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам шестой международной научно-практической конференции, Краснодар, 21–22 декабря 2023 года. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2024. – С. 157–165.

114. Пантюхина, Е.В. Факторы, влияющие на производительность механических дисковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств /

Е.В. Пантюхина, С.А. Васин, С.Н. Шевченко, А.А. Борисов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 3 (119). – С. 99–104.

115. Пат. 216181 Российская Федерация. МПК В23Q 7/02. Бункерное загрузочно-ориентирующее устройство для объемных заготовок с асимметрией по торцам / Е.В. Пантюхина, Э.В. Дьякова. – № 2022130598; заявл. 23.11.2022; опубл. 20.01.2023, Бюл. № 2.

116. Пат. 221163 Российская Федерация. МПК В23Q 7/02. Бункерное загрузочно-ориентирующее устройство для объемных заготовок с асимметрией по торцам / В.В. Прейс, Е.В. Пантюхина, Э.В. Дьякова. – № 2023108057; заявл. 30.03.2023; опубл. 23.10.2023, Бюл. № 30.

117. Повидайло, В.А. Расчет и конструирование бункерных загрузочных устройств для металлорежущих станков / В.А. Повидайло, К.И. Беспалов. – Москва – Киев: МАШГИЗ, 1959. – 108 с.

118. Прейс, В.В. Надежность роторных систем автоматической загрузки приборостроении / В.В. Прейс. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 110 с.

119. Прейс, В.В. Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в роторные и роторно-конвейерные линии / В.В. Прейс // Вестник машиностроения. – Вып. 12, 2002. – С. 136–143.

120. Прейс, В.В. Технологичность штучных предметов обработки для автоматической загрузки в роторные и роторно-конвейерные линии / В.В. Прейс // Теория, технология, оборудование и автоматизация обработки металлов давлением и резанием: сборник статей. Вып. 1. – Тула: «Гриф и К^о», 1999. – С. 208–214.

121. Пузиков, И.В. Автоматическая загрузка плоских и близких к равноразмерным асимметричных деталей в технологические машины и линии / И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 10. – С. 513–522.

122. Пузиков, И.В. Влияние способов ориентирования асимметричных изделий на производительность бункерного загрузочного устройства с

радиальным расположением органов захвата / И.В. Пузиков, С.А. Васин, А.Л. Бахно // Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции (26 – 28 ноября 2025 г.), Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Кемерово, 2025. – С. 381–384.

123. Пузиков, И.В. Вопросы обеспечения захвата и ориентирования цилиндрических изделий с неявной асимметрией в универсальном бункерном загрузочном устройстве с радиальными карманами и активным ориентированием / И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина, А.Л. Бахно, С.А. Васин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – № 5 т. 27. – С. 123–127.

124. Пузиков, И.В. Зависимость производительности бункерного загрузочного устройства с радиальным расположением органов захвата от способа ориентирования асимметричных изделий / И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 12. – С. 541–546.

125. Пузиков, И.В. Описание разработанной методики исследования и проектирования бункерного загрузочного устройства с регулируемым кольцевым ориентатором и активным ориентированием / И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 10. – С. 358–364.

126. Пузиков, И.В. Разработка математических моделей вероятности захвата одно- и многокомпонентных асимметричных изделий в универсальном бункерном загрузочном устройстве с радиальными карманами и активным ориентированием / И.В. Пузиков, А.С. Васин, Е.В. Пантюхина, А.Л. Бахно // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 28, № 1, 2026. – С. 5–14.

127. Пузиков, И.В. Теоретическое исследование производительности усовершенствованного бункерного загрузочного устройства с радиальными карманами и регулируемым кольцевым ориентатором для одно- и

многокомпонентных изделий с торцом в форме усеченного конуса / И.В. Пузиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 2. – С. 13–21.

128. Пузиков, И.В. Этапы проектирования дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными карманами, копиром и регулируемым кольцевым ориентатором для многокомпонентных асимметричных изделий тел вращения / И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина, С.А. Васин [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 3(99). – С. 222–230.

129. Усенко, Н.А. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства / Н.А. Усенко, И.С. Бляхеров. – М.: Машиностроение, 1984. – 112 с.

130. Усенко, Н.А. Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы / Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова. Под ред. проф. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2013. – 310 с.

131. Черпаков, Б.И. Загрузочные и транспортные устройства в автоматизированном производстве / Б.И. Черпаков. – М.: Высшая школа, 1977. – 55 с.

132. Шаумян, Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов / Г.А. Шаумян. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.

133. Яхимович, В.А. Транспортно-загрузочные и сборочные устройства и автоматы / В.А. Яхимович. – Киев: Техника, 1976. – 192 с.

**ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЕРОЯТНОСТИ БЛАГОПРИЯТНОГО ЗАХВАТА
ПОЛЫХ ПО ТОРЦАМ ЗАГОТОВОК**

[illegible]

Заготовка - тип II (не сцепляемые)

$$\begin{aligned}\delta I_{nc}(a) &:= 2 \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} & \delta II_{nc}(a) &:= 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcII(a)}{\sqrt{(h(a) - xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} \\ \delta IV_{nc}(a) &:= \arccos \left[\frac{h2(a) - h(a) + xcII(a)}{\sqrt{(h2(a) - h(a) + xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} - \arccos \left[\frac{xcII(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} \\ \delta V_{nc}(a) &:= \arccos \left[\frac{xcII(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} - \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} \\ \delta III_{nc}(a) &:= \frac{[360 - (\delta I_{nc}(a) + \delta II_{nc}(a) + 2 \delta IV_{nc}(a) + 2 \delta V_{nc}(a))]}{2}\end{aligned}$$

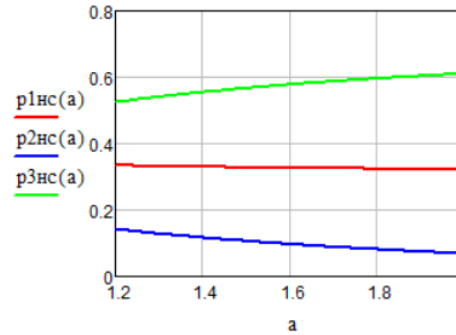
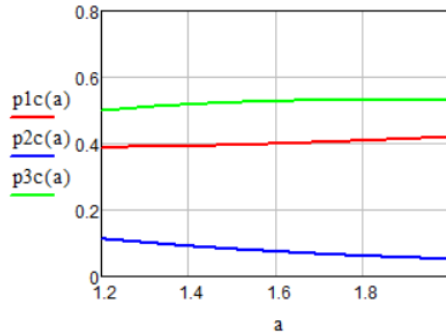
Вероятности падения на каждую поверхность

Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$\begin{aligned}pIc(a) &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta Ic(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) & pIIc(a) &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IIc(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) \\ pIVc(a) &:= \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a) + 2 \cdot \delta IVc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]] \\ p1c(a) &:= pIc(a) + pIVc(a) & p2c(a) &:= pIIc(a) & p3c(a) &:= 1 - p1c(a) - p2c(a)\end{aligned}$$

Заготовка - тип II (не сцепляемые)

$$\begin{aligned}pI_{nc}(a) &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta I_{nc}(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) & pII_{nc}(a) &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta II_{nc}(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) & a &:= 1.2, 1.21 \dots 2 \\ pIV_{nc}(a) &:= \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I_{nc}(a) + 2 \cdot \delta V_{nc}(a) + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I_{nc}(a) + 2 \cdot \delta V_{nc}(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]] \\ p1_{nc}(a) &:= pI_{nc}(a) + pIV_{nc}(a) & p2_{nc}(a) &:= pII_{nc}(a) & p3_{nc}(a) &:= 1 - p1_{nc}(a) - p2_{nc}(a)\end{aligned}$$



Вероятность Pi

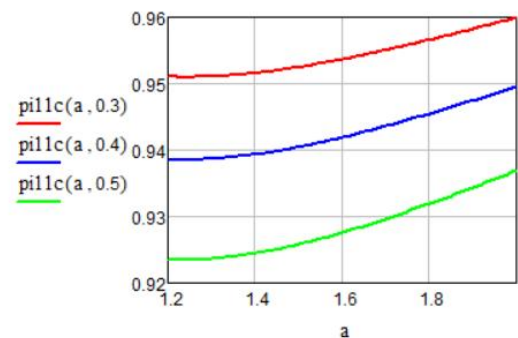
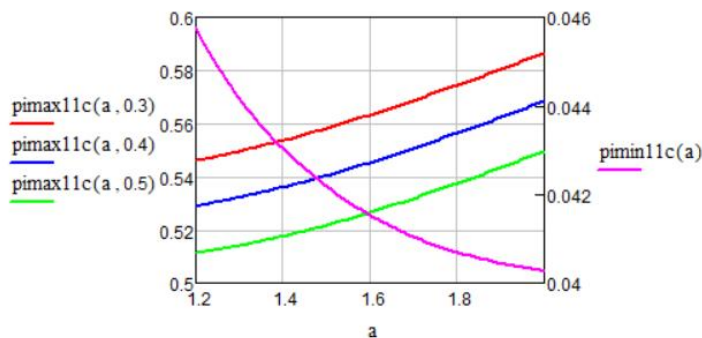
$$\Phi(\mu) := \frac{1}{\deg} \cdot 2 \cdot \arccos \left[\frac{\sin(2\alpha d) \cdot \mu + \mu \cdot \sqrt{(\sin(2\alpha d))^2 - 4(1 + \mu^2) \cdot (\sin(\alpha d))^2 \cdot \cos(2\alpha d)}}{2(\sin(\alpha d))^2 \cdot (1 + \mu^2)} \right]$$

Наибольшее и наименьшее значения вероятности Pi

Заготовка - тип I (сцепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$\begin{aligned}p_{max11c}(a, \mu) &:= p1c(a) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta Ic(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IVc(a) \cdot \deg - 2 \arcsin \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha d)} \right) \right) \\ p_{min11c}(a) &:= \frac{p1c(a)}{2\pi} \cdot \arctan \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\arcsin \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right) \\ p_{11c}(a, \mu) &:= 1 - (1 - p_{max11c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{min11c}(a))\end{aligned}$$

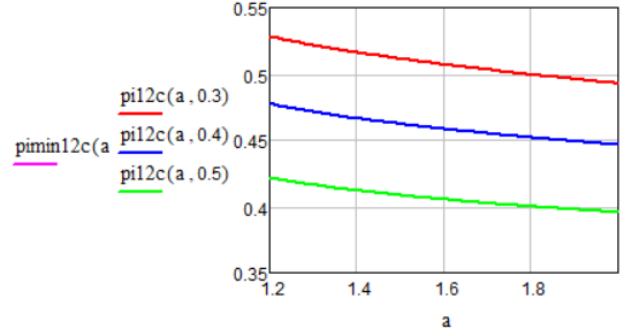
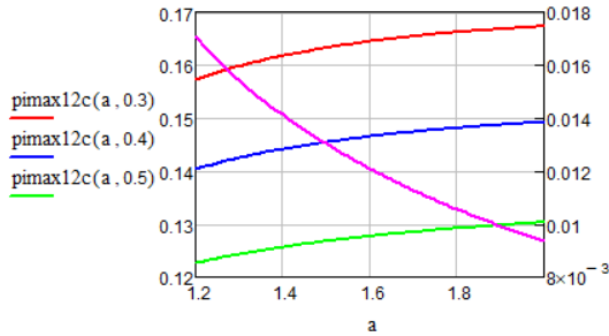


Вариант 1.2 - радиал., лежа, пассивное

$$p_{\max 12c}(a, \mu) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I c(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 12c}(a) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{12c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 12c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 12c}(a)) \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

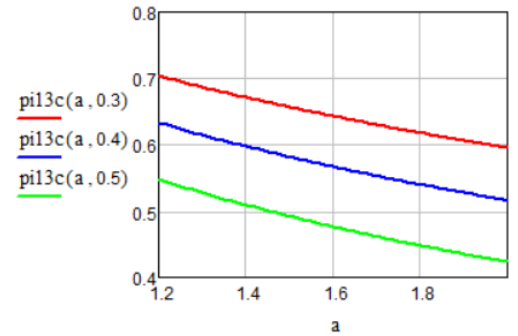
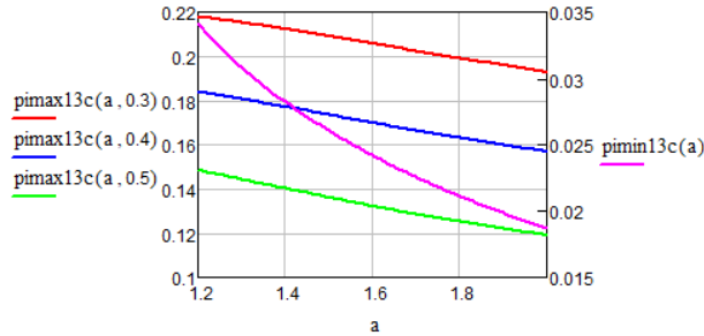


Вариант 1.3 - радиал., лежа, активное

$$p_{\max 13c}(a, \mu) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I c(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right) + \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta II c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 13c}(a) := \frac{p^3 c(a)}{\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{13c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 13c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 13c}(a)) \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

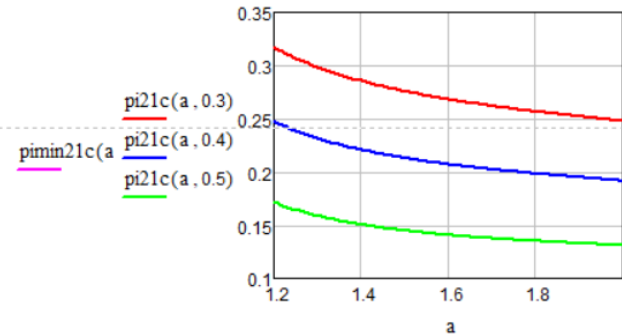
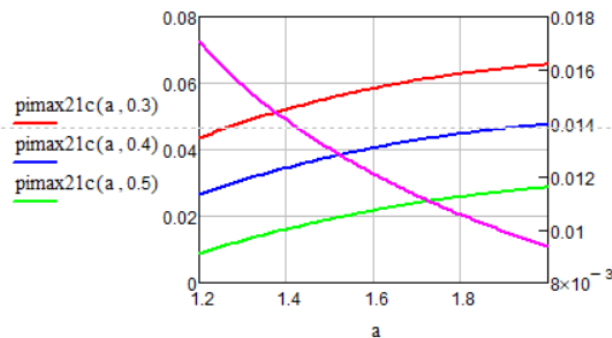


Вариант 2.1 - тангенц., лежа, пассивное

$$p_{\max 21c}(a, \mu) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta III c(a) \cdot \deg + \delta V c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 21c}(a) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{21c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 21c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 21c}(a)) \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}$$

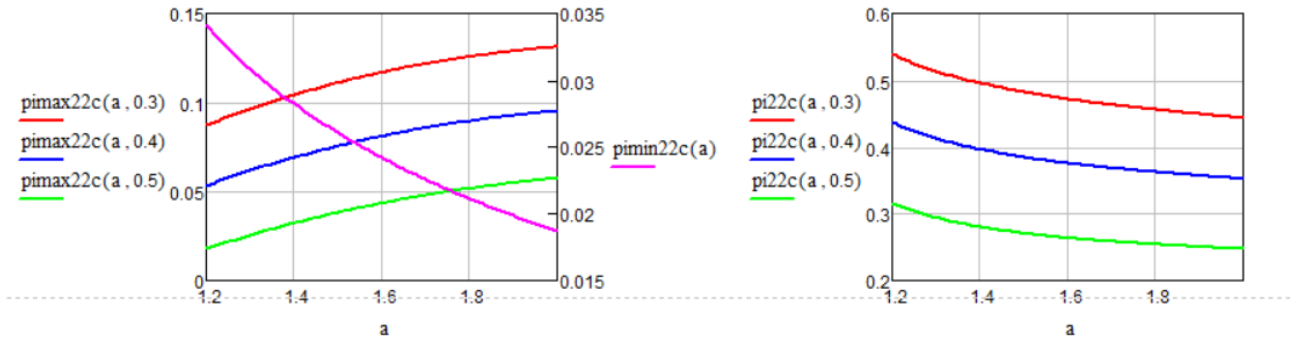


Вариант 2.2 - тангенц., лежа, активное

$$p_{\max 22c}(a, \mu) := \frac{p_{3c}(a)}{\pi} \cdot \left(\delta_{IIIc}(a) \cdot \text{deg} + \delta V_{c}(a) \cdot \text{deg} - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 22c}(a) := \frac{p_{3c}(a)}{\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{22c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 22c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 22c}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}$$



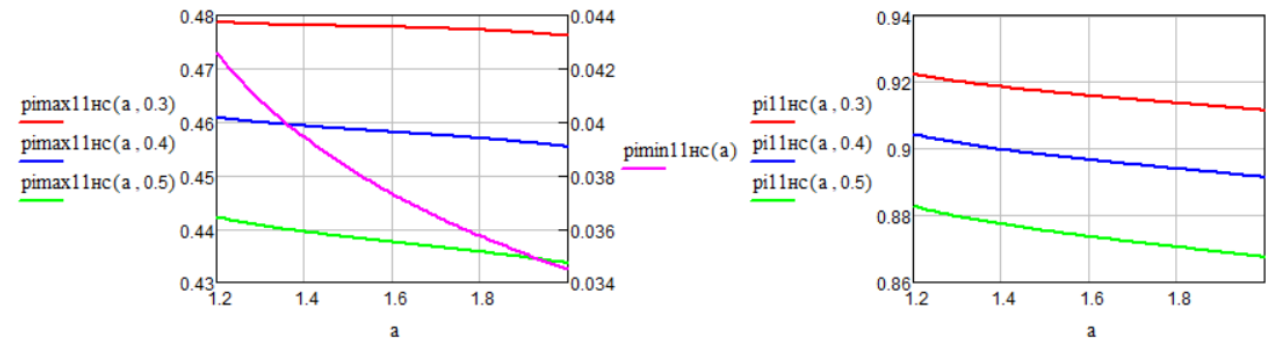
Заготовка - тип II (несцепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$p_{\max 11nc}(a, \mu) := p_{1nc}(a) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta_{Inc}(a) \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \text{deg} - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 11nc}(a) := \frac{p_{1nc}(a)}{2\pi} \cdot \operatorname{atan} \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{11nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 11nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 11nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d_2 \cdot 180}$$

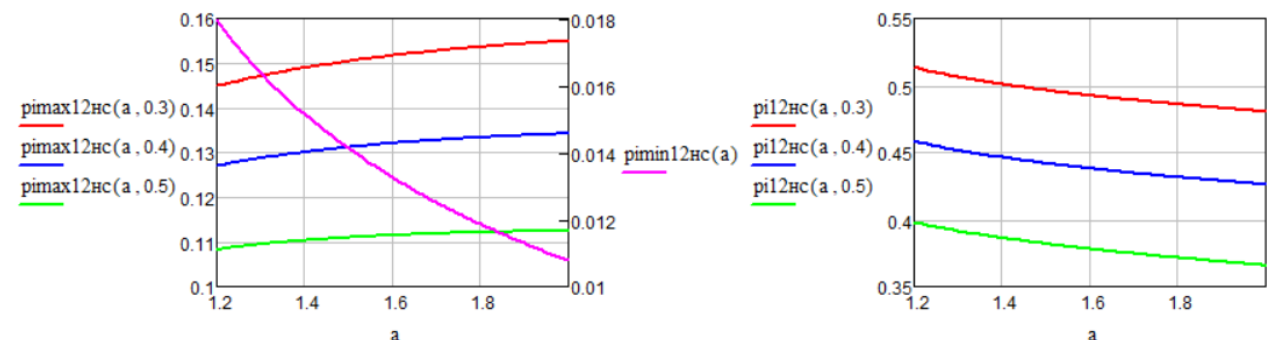


Вариант 1.2 - радиал., лежа, пассивное

$$p_{\max 12nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta_{Inc}(a) \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \text{deg} - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 12nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{12nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 12nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 12nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d_2 \cdot 180}$$

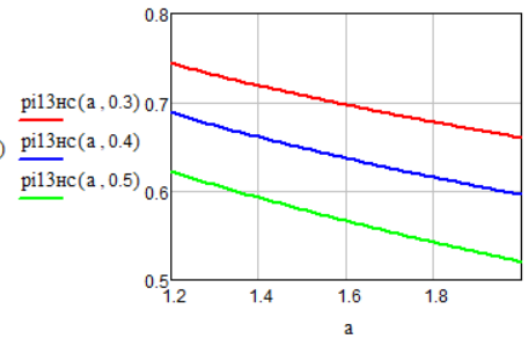
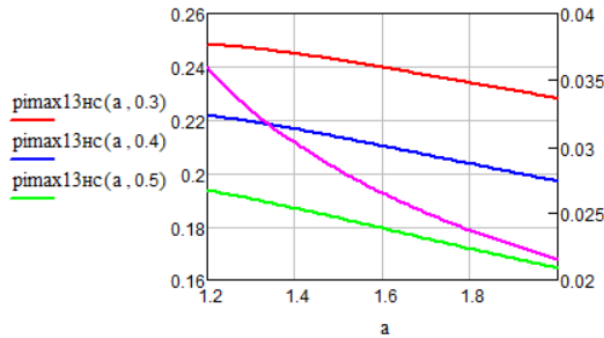


Вариант 1.3 - радиал., лежа, активное

$$p_{\max 13nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I_{nc}(a) \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \text{deg} - 2 \cdot \text{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta II_{nc}(a) \cdot \text{deg} - \text{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 13nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{\pi} \cdot \left(\text{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \text{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{13nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 13nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 13nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d_2 \cdot 180}$$

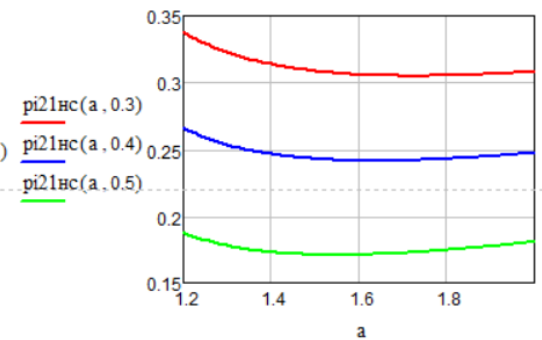
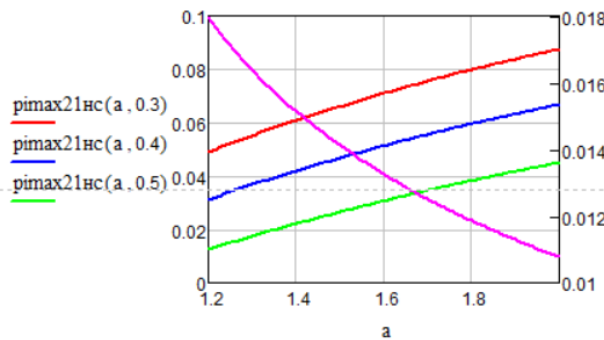


Вариант 2.1 - тангенц., лежа, пассивное

$$p_{\max 21nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta III_{nc}(a) \cdot \text{deg} + \delta V_{nc}(a) \cdot \text{deg} - 2 \cdot \text{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 21nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\text{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \text{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{21nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 21nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 21nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}$$

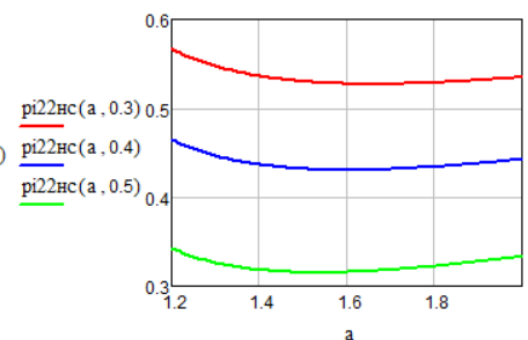
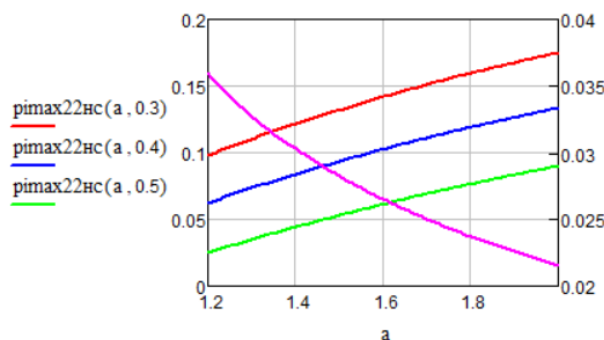


Вариант 2.2 - тангенц., лежа, активное

$$p_{\max 22nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{\pi} \cdot \left(\delta III_{nc}(a) \cdot \text{deg} + \delta V_{nc}(a) \cdot \text{deg} - 2 \cdot \text{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 22nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{\pi} \cdot \left(\text{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \text{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{22nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 22nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 22nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}$$



Параметры заготовки $d1 := 20$ $d2 := 1.25d1$ $d10 := 0.6d1$ $\Delta := 0.1d2$ $\alpha_d := 45\text{deg}$ $R_g := 7d2$
 $h(a) := a \cdot d1$ $d2 = 25$ $\Delta k := 0.2d2$
 $h1(a) := \frac{1}{5} \cdot h(a)$ $h2(a) := h(a) - h1(a)$ $g := 9.81$
 $h10(a) := 0.8 \cdot h1(a)$ $h20(a) := 0.85 \cdot h2(a)$

Глава 2.1. Вероятность, учитывающая благоприятные положения заготовок для захвата на дне бункера.
Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$d20I := 1.15 \cdot d1$$

Определение координаты центра масс фигуры

Полости: $V20I(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d20I)^2 \cdot h20(a)$ $V10(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d10)^2 \cdot h10(a)$
 $xc20I(a) := \frac{1}{2} \cdot h20(a)$ $xc10(a) := \frac{1}{2} \cdot h10(a)$

Сплошные части: $V1(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d1)^2 \cdot h1(a)$ $V2(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d2)^2 \cdot h2(a)$ $xc1(a) := \frac{1}{2} \cdot h1(a)$ $xc2(a) := \frac{1}{2} \cdot h2(a)$
 $V(a) := V1(a) + V2(a) - V20I(a) - V10(a)$

Вся заготовка:

$$xcI(a) := \frac{xc1(a) \cdot V1(a) + (h(a) - xc2(a)) \cdot V2(a) - (h(a) - xc20I(a)) \cdot V20I(a) - xc10(a) \cdot V10(a)}{V1(a) + V2(a) - V20I(a) - V10(a)}$$

Заготовка - тип IV (не сцепляемые) $d20II := 0.85 \cdot d1$

Полость: $V20II(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d20II)^2 \cdot h20(a)$ $xc20II(a) := \frac{1}{2} \cdot h20(a)$

Вся заготовка: $xcII(a) := \frac{xc1(a) \cdot V1(a) + (h(a) - xc2(a)) \cdot V2(a) - (h(a) - xc20II(a)) \cdot V20II(a)}{V1(a) + V2(a) - V20II(a)}$

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$xcII(1.2) = 11.159$$

$$\delta Ic(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IIc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcI(a)}{\sqrt{(h(a) - xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta Ic(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IIc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcI(a)}{\sqrt{(h(a) - xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IVc(a) := \arccos \left[\frac{h2(a) - h(a) + xcI(a)}{\sqrt{(h2(a) - h(a) + xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcI(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcI(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta Vc(a) := \arccos \left[\frac{xcI(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcI(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IIIc(a) := \frac{[360 - (\delta Ic(a) + \delta IIc(a) + 2 \delta IVc(a) + 2 \delta Vc(a))]}{2}$$

Заготовка - тип VI (не сцепляемые)

$$\delta IInc(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IIInc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcII(a)}{\sqrt{(h(a) - xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IVInc(a) := \arccos \left[\frac{h2(a) - h(a) + xcII(a)}{\sqrt{(h2(a) - h(a) + xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcII(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta VInc(a) := \arccos \left[\frac{xcII(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IIIInc(a) := \frac{[360 - (\delta IInc(a) + \delta IIInc(a) + 2 \delta IVInc(a) + 2 \delta VInc(a))]}{2}$$

Вероятности падения на каждую поверхность

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$pIc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta Ic(a) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}))$$

$$pIIc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IIc(a) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}))$$

$$pIVc(a) := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos((\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a) + 2 \cdot \delta IVc(a)) \cdot 0.5 \cdot \text{deg})] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos((\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a)) \cdot 0.5 \cdot \text{deg})]$$

$$p1c(a) := pIc(a) + pIVc(a)$$

$$p2c(a) := pIIc(a)$$

$$p3c(a) := 1 - p1c(a) - p2c(a)$$

Заготовка - тип VI (не сцепляемые)

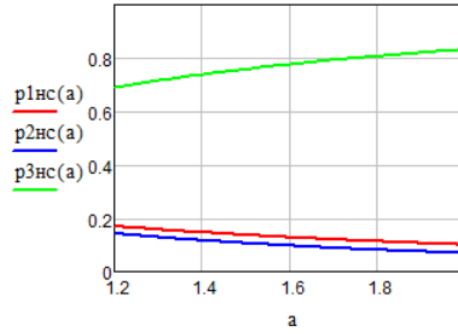
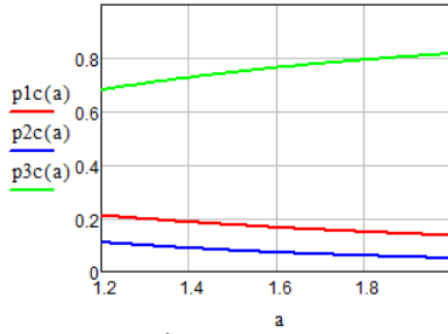
$$a := 1.2, 1.21 \dots 2$$

$$pIInc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IInc(a) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}))$$

$$pIIInc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IIInc(a) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}))$$

$$pIV_{nc}(a) := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I_{nc}(a) + 2 \cdot \delta V_{nc}(a) + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a)) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I_{nc}(a) + 2 \cdot \delta V_{nc}(a)) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}]]$$

$$p1_{nc}(a) := p1_{nc}(a) + pIV_{nc}(a) \quad p2_{nc}(a) := p1_{nc}(a) \quad p3_{nc}(a) := 1 - p1_{nc}(a) - p2_{nc}(a)$$



Вероятность Pi

$$\phi(\mu) := \frac{1}{\text{deg}} \cdot 2 \cdot \arccos \left[\frac{\sin(2\alpha_d) \cdot \mu + \mu \cdot \sqrt{(\sin(2\alpha_d))^2 - 4(1 + \mu^2) \cdot (\sin(\alpha_d))^2 \cdot \cos(2\alpha_d)}}{2(\sin(\alpha_d))^2 \cdot (1 + \mu^2)} \right]$$

Наибольшее и наименьшее значения вероятности Pi

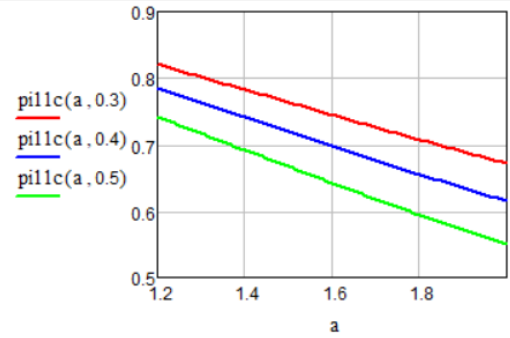
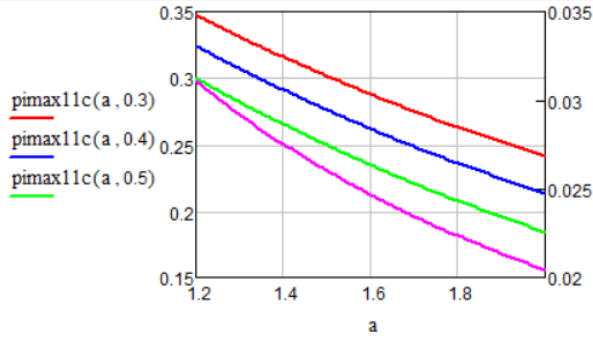
Заготовка - тип III (сцепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$p1_{max11c}(a, \mu) := p1c(a) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta Ic(a) \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IVc(a) \cdot \text{deg} - 2 \cdot \arcsin \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p1_{min11c}(a) := \frac{p1c(a)}{2\pi} \cdot \arctan \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\arcsin \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$p11c(a, \mu) := 1 - (1 - p1_{max11c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p1_{min11c}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

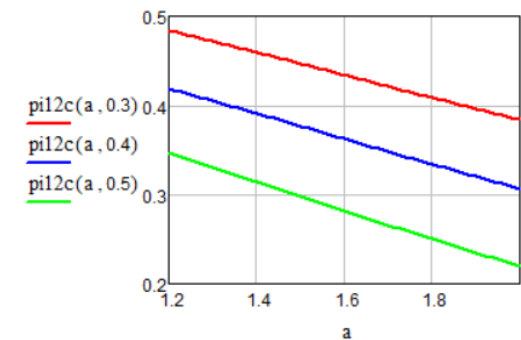
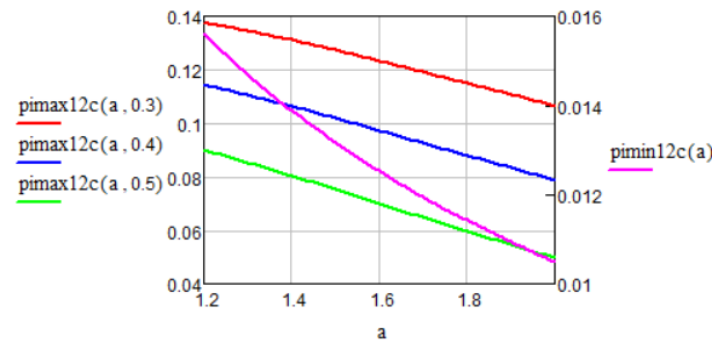


Вариант 1.2 - радиал., лежа, пассивное

$$p1_{max12c}(a, \mu) := \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta Ic(a) \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IVc(a) \cdot \text{deg} - 2 \cdot \arcsin \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p1_{min12c}(a) := \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\arcsin \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$p12c(a, \mu) := 1 - (1 - p1_{max12c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p1_{min12c}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

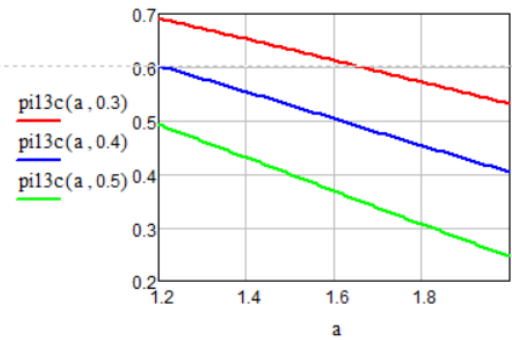
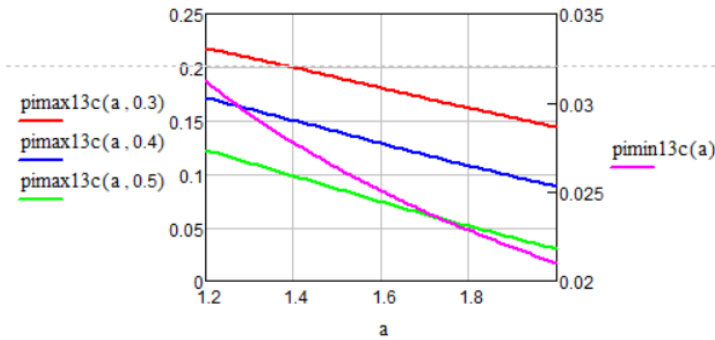


Вариант 1.3 - радиал., лежа, активное

$$p_{\max 13c}(a, \mu) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I c(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right) + \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta II c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 13c}(a) := \frac{p^3 c(a)}{\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{13c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 13c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 13c}(a))^{\frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}}$$

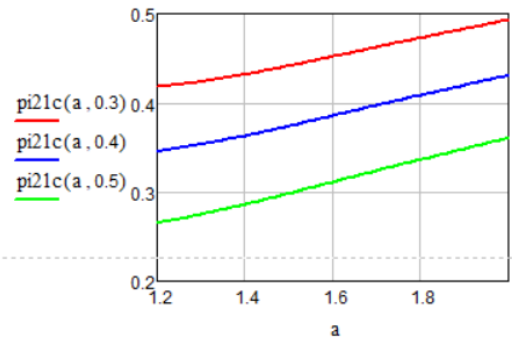
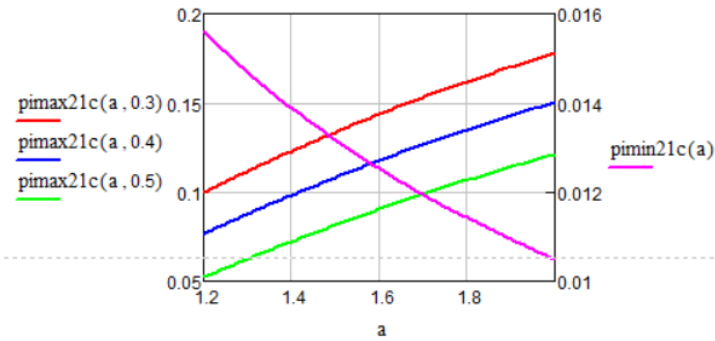


Вариант 2.1 - тангенц., лежа, пассивное

$$p_{\max 21c}(a, \mu) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta III c(a) \cdot \deg + \delta V c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 21c}(a) := \frac{p^3 c(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{21c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 21c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 21c}(a))^{\frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}}$$

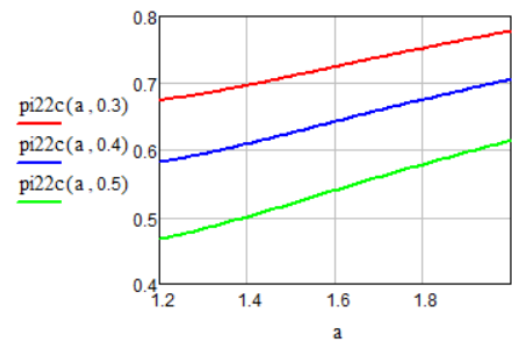
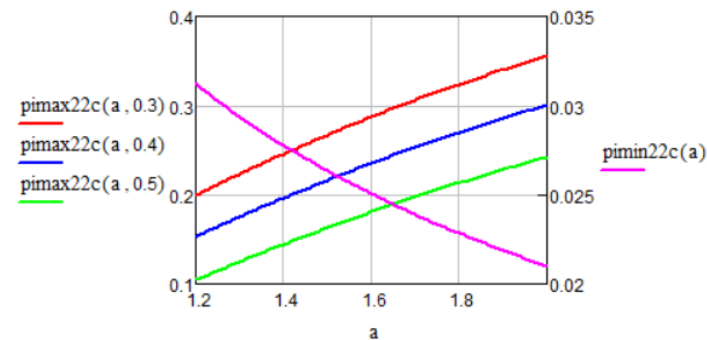


Вариант 2.2 - тангенц., лежа, активное

$$p_{\max 22c}(a, \mu) := \frac{p^3 c(a)}{\pi} \cdot \left(\delta III c(a) \cdot \deg + \delta V c(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 22c}(a) := \frac{p^3 c(a)}{\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{22c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 22c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 22c}(a))^{\frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}}$$



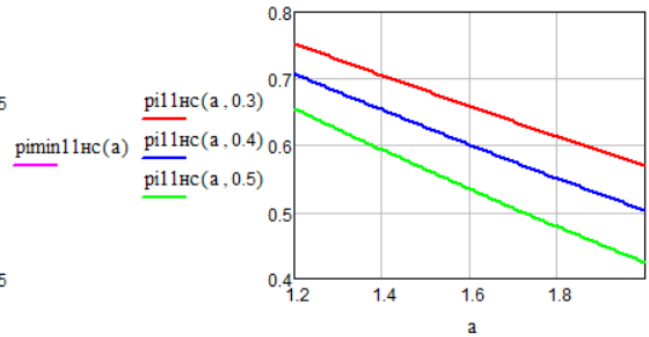
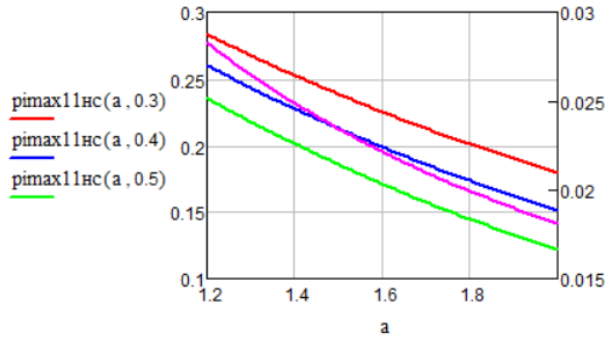
Заготовка - тип IV (несцепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$p_{\max 11nc}(a, \mu) := p_{1nc}(a) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I_{nc}(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 11nc}(a) := \frac{p_{1nc}(a)}{2\pi} \cdot \operatorname{atan} \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{11nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 11nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 11nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

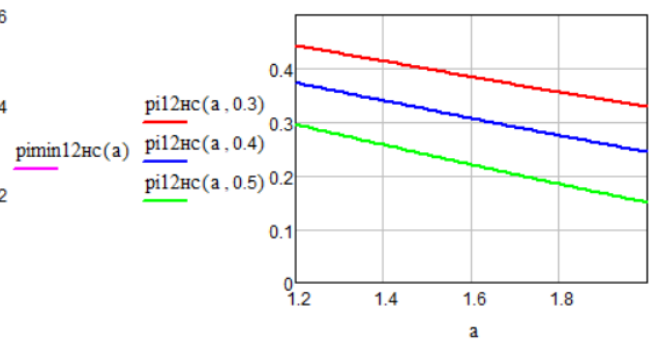
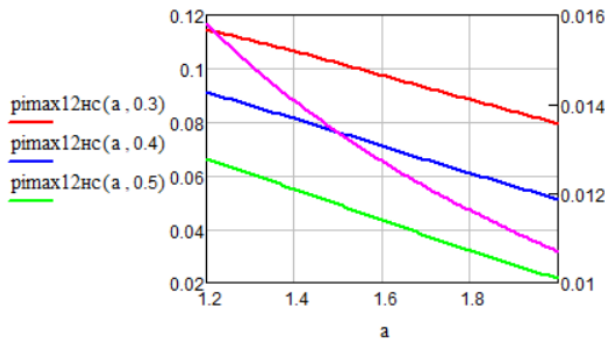


Вариант 1.2 - радиал., лежа, пассивное

$$p_{\max 12nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I_{nc}(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 12nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{12nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 12nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 12nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

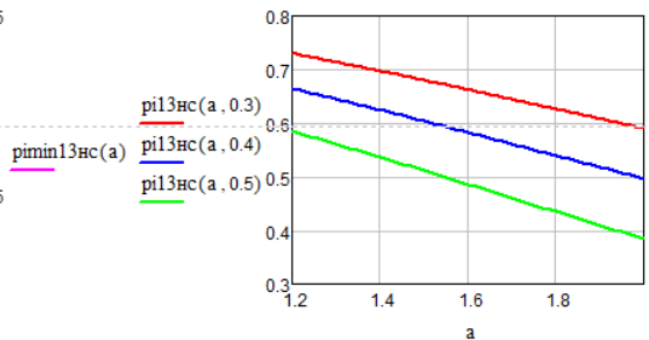
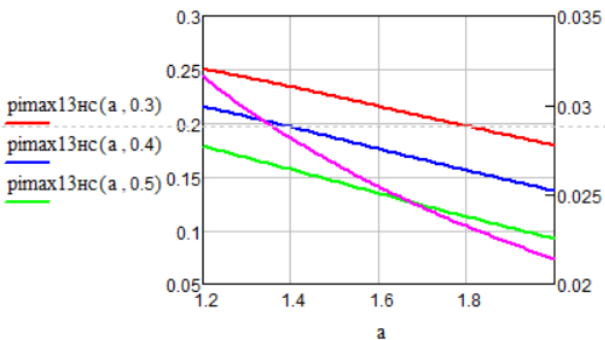


Вариант 1.3 - радиал., лежа, активное

$$p_{\max 13nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I_{nc}(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta II_{nc}(a) \cdot \deg - \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 13nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{13nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 13nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 13nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

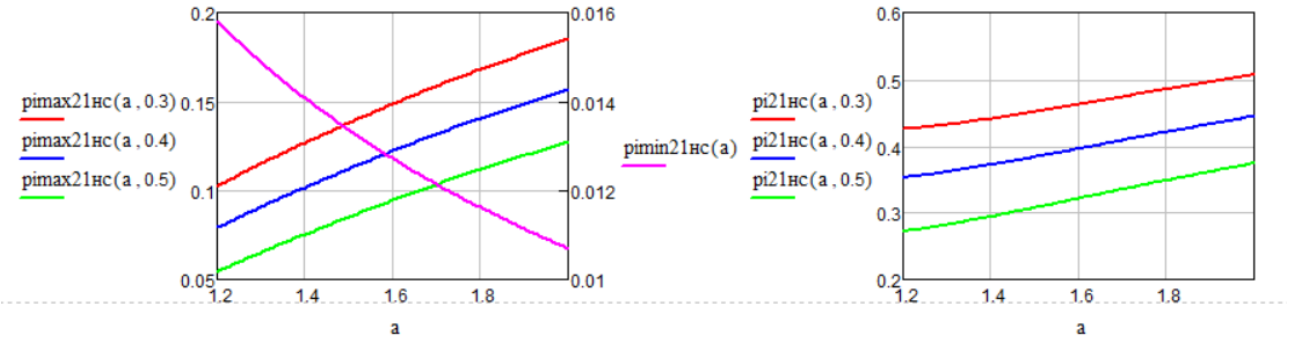


Вариант 2.1 - тангенц., лежа, пассивное

$$p_{\max 21nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta_{IIInc}(a) \cdot \deg + \delta_{Vnc}(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 21nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{21nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 21nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 21nc}(a)) \frac{R \cdot \Phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}$$

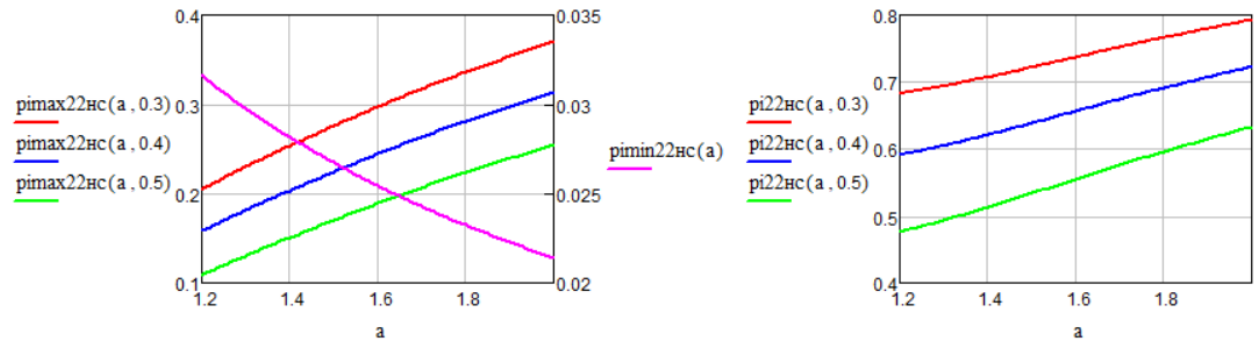


Вариант 2.2 - тангенц., лежа, активное

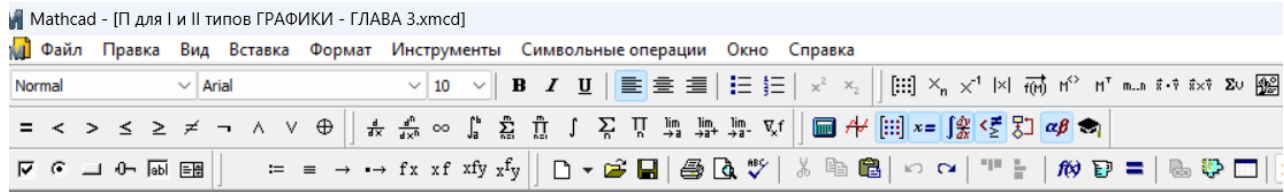
$$p_{\max 22nc}(a, \mu) := \frac{p_{3nc}(a)}{\pi} \cdot \left(\delta_{IIInc}(a) \cdot \deg + \delta_{Vnc}(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 22nc}(a) := \frac{p_{3nc}(a)}{\pi} \cdot \left(\operatorname{asin} \left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) - \operatorname{asin} \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}} \right) \right)$$

$$pi_{22nc}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 22nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 22nc}(a)) \frac{R \cdot \Phi(\mu) \cdot \pi}{h(a) \cdot 180}$$



ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА



Параметры заготовки $d1 := 20$ $d2 := 1.25d1$ $d10 := 0.6d1$ $d110 := 0.45d1$ $\Delta := 0.1d2$ $\alpha_d := 45\text{deg}$ $R := 7d2$
 $h(a) := a \cdot d1$ $d2 = 25$ $\Delta k := 0.2d2$
 $h1(a) := \frac{1}{5}(h(a))$ $h2(a) := \frac{3}{5}(h(a))$ $g := 9.81$
 $h10(a) := 0.8 \cdot h1(a)$ $h20(a) := 0.85 \cdot h2(a)$

Глава 2.1. Вероятность, учитывающая благоприятные положения заготовок для захвата на дне бункера.
Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$d20I := 1.15 \cdot d1$$

Определение координаты центра масс фигуры

Полости: $V20I(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d20I)^2 \cdot h20(a)$ $V10(a) := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h10(a) \cdot [(0.5 \cdot d10)^2 + (0.5 \cdot d10) \cdot (0.5 \cdot d110) + (0.5 \cdot d110)^2]$

$$xc20I(a) := \frac{1}{2} \cdot h20(a) \quad xc10(a) := \frac{h10(a)}{4} \cdot \frac{(0.5 \cdot d10)^2 + 2(0.5 \cdot d10) \cdot (0.5 \cdot d110) + 3 \cdot (0.5 \cdot d110)^2}{(0.5 \cdot d10)^2 + (0.5 \cdot d10) \cdot (0.5 \cdot d110) + (0.5 \cdot d110)^2}$$

Сплошные

части: $V1(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d1)^2 \cdot h1(a)$ $V2(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d2)^2 \cdot h2(a)$ $xc1(a) := \frac{1}{2} \cdot h1(a)$ $xc2(a) := \frac{1}{2} \cdot h2(a)$
 $V12(a) := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (h(a) - h1(a) - h2(a)) \cdot [(0.5 \cdot d2)^2 + (0.5 \cdot d1) \cdot (0.5 \cdot d2) + (0.5 \cdot d1)^2]$

$$xc12(a) := \frac{h(a) - h1(a) - h2(a)}{4} \cdot \frac{(0.5 \cdot d2)^2 + 2(0.5 \cdot d2) \cdot (0.5 \cdot d1) + 3 \cdot (0.5 \cdot d1)^2}{(0.5 \cdot d2)^2 + (0.5 \cdot d2) \cdot (0.5 \cdot d1) + (0.5 \cdot d1)^2}$$

$$V(a) := V1(a) + V2(a) + V12(a) - V20I(a) - V10(a)$$

Вся заготовка:

$$xcI(a) := \frac{xc1(a) \cdot V1(a) + (h1(a) + xc12(a)) \cdot V12(a) + (h(a) - xc2(a)) \cdot V2(a) - (h(a) - xc20I(a)) \cdot V20I(a) - xc10(a) \cdot V10(a)}{V1(a) + V2(a) + V12(a) - V20I(a) - V10(a)}$$

Заготовка - тип II (не сцепляемые) $d20II := 0.85 \cdot d1$

Полость: $V20II(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d20II)^2 \cdot h20(a)$ $xc20II(a) := \frac{1}{2} \cdot h20(a)$

Вся заготовка: $xcII(a) := \frac{xc1(a) \cdot V1(a) + (h1(a) + xc12(a)) \cdot V12(a) + (h(a) - xc2(a)) \cdot V2(a) - (h(a) - xc20II(a)) \cdot V20II(a)}{V1(a) + V2(a) + V12(a) - V20II(a)}$

Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$\delta Ic(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} \quad \delta IIc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcI(a)}{\sqrt{(h(a) - xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IVc(a) := \arccos \left[\frac{h2(a) - h(a) + xcI(a)}{\sqrt{(h2(a) - h(a) + xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcI(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcI(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta Vc(a) := \arccos \left[\frac{xcI(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcI(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IIIc(a) := \frac{[360 - (\delta Ic(a) + \delta IIc(a) + 2 \delta IVc(a) + 2 \delta Vc(a))]}{2}$$

Заготовка - тип II (не сцепляемые)

$$\delta Inc(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} \quad \delta IInc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcII(a)}{\sqrt{(h(a) - xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IVnc(a) := \arccos \left[\frac{h2(a) - h(a) + xcII(a)}{\sqrt{(h2(a) - h(a) + xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xcII(a) - h1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h1(a))^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta V_{nc}(a) := \operatorname{acos}\left[\frac{x_{cII}(a) - h_1(a)}{\sqrt{(x_{cII}(a) - h_1(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}}\right] \cdot \frac{1}{\deg} - \operatorname{acos}\left[\frac{x_{cII}(a)}{\sqrt{(x_{cII}(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}}\right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta \Pi_{nc}(a) := \frac{[360 - (\delta I_{nc}(a) + \delta \Pi_{nc}(a) + 2 \delta IV_{nc}(a) + 2 \delta V_{nc}(a))]}{2}$$

Вероятности падения на каждую поверхность

Заготовка - тип I (цепляемые)

$$pIc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta Ic(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) \quad pIIc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IIc(a) \cdot 0.5 \cdot \deg))$$

$$pIVc(a) := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a) + 2 \cdot \delta IVc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]]$$

$$p1c(a) := pIc(a) + pIVc(a) \quad p2c(a) := pIIc(a) \quad p3c(a) := 1 - p1c(a) - p2c(a)$$

Заготовка - тип II (не цепляемые)

$$pI_{nc}(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta I_{nc}(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) \quad pII_{nc}(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta II_{nc}(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) \quad a := 1.2, 1.21 \dots 2$$

$$pIV_{nc}(a) := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I_{nc}(a) + 2 \cdot \delta V_{nc}(a) + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I_{nc}(a) + 2 \cdot \delta V_{nc}(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg]]$$

$$p1_{nc}(a) := pI_{nc}(a) + pIV_{nc}(a) \quad p2_{nc}(a) := pII_{nc}(a) \quad p3_{nc}(a) := 1 - p1_{nc}(a) - p2_{nc}(a)$$

Вероятность Pi

$$\phi(\mu) := \frac{1}{\deg} \cdot 2 \cdot \operatorname{acos}\left[\frac{\sin(2\alpha_d) \cdot \mu + \mu \cdot \sqrt{(\sin(2\alpha_d))^2 - 4(1 + \mu^2) \cdot (\sin(\alpha_d))^2 \cdot \cos(2\alpha_d)}}{2(\sin(\alpha_d))^2 \cdot (1 + \mu^2)}\right]$$

Наибольшее и наименьшее значения вероятности Pi

Заготовка - тип I (цепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$p_{\max 11c}(a, \mu) := p1c(a) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta Ic(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IVc(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin}\left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)}\right) \right)$$

$$p_{\min 11c}(a) := \frac{p1c(a)}{2\pi} \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{\Delta}{\Delta k}\right) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin}\left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}}\right) - \operatorname{asin}\left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}}\right) \right)$$

$$p11c(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 11c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 11c}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

Заготовка - тип II (нечепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$p_{\max 11nc}(a, \mu) := p1_{nc}(a) + \frac{p3_{nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta I_{nc}(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IV_{nc}(a) \cdot \deg - 2 \operatorname{asin}\left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)}\right) \right)$$

$$p_{\min 11nc}(a) := \frac{p1_{nc}(a)}{2\pi} \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{\Delta}{\Delta k}\right) + \frac{p3_{nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\operatorname{asin}\left(\frac{d2 + \Delta}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}}\right) - \operatorname{asin}\left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2(a)^2}}\right) \right)$$

$$p11nc(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 11nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 11nc}(a)) \cdot \frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$$

Вероятность Pc

$$FI := \frac{d1^2 \cdot \pi}{4} \quad FII := \frac{d2^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d20I^2 \cdot \pi}{4} \quad FIV(a) := \pi \cdot \left(\frac{d2}{2} - \frac{d1}{2} \right) \cdot (h(a) - h1(a) - h2(a))$$

$$FIII(a) := d2 \cdot h2(a) \cdot \pi \quad FV(a) := d1 \cdot h1(a) \cdot \pi \quad FVI(a) := d20I \cdot h20(a) \cdot \pi$$

$$\mu_0 := 0.35 \quad \mu_{cII} := \tan(30.5 \deg) \quad zc := 6$$

$$A := \operatorname{atan}(\mu_0) \quad A1 := \operatorname{atan}(\mu_{cII})$$

$$F(a) := FI + FII + FIII(a) + FIV(a) + FV(a) + FVI(a)$$

Заготовка - тип I (цепляемые)

$$C(a) := 6FI + 6FII + 10FIII(a) + 10FIV(a) + 10FV(a)$$

$$p_{cc}(a) := 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}zc \cdot \pi F(a)} \cdot [\sqrt{2} \cdot A \cdot (2 \cdot FI + 2FII) + A \cdot (C(a)) + \sqrt{2} \cdot A1 \cdot (2FIV(a) + 2FV(a) + 4 \cdot FVI(a))]$$

Заготовка - тип II (нечепляемые)

$$p_{cnc}(a) := 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}zc \cdot \pi F(a)} \cdot [\sqrt{2} \cdot A \cdot (4 \cdot FI + 4FII) + A \cdot (6FI + 6FII + 10FIII(a) + 10FIV(a) + 10FV(a))]$$

Вероятность Pu $\mu_{hp} := 0.5d2$

$$\underline{\underline{A}} := 2 + \frac{2 \cdot \Delta}{d2} \quad B := \frac{1}{g \cdot d2 \cdot 10^{-3}} \quad Z := 5 \cdot B \cdot B$$

Вариант задания 1

$$C1 := 1 + \frac{2 \cdot hp}{d2} \quad \underline{\underline{Y1}} := 4 \cdot A \cdot B + 2 \cdot C1 \cdot B \quad X1 := A \cdot A + C1 \cdot C1 - 1$$

$$v1 := \sqrt{\frac{Y1 - \sqrt{Y1 \cdot Y1 - 4 \cdot Z \cdot X1}}{2 \cdot Z}} \quad v1 = 0.499$$

Вариант задания 2

Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$C2I(a) := \frac{xcI(a)}{d2} + \frac{2 \cdot hp}{d2}$$

$$Y2I(a) := 4 \cdot A \cdot B + 2 \cdot C2I(a) \cdot B$$

$$X2I(a) := A \cdot A + C2I(a) \cdot C2I(a) - 1$$

$$v2I(a) := \sqrt{\frac{Y2I(a) - \sqrt{Y2I(a) \cdot Y2I(a) - 4 \cdot Z \cdot X2I(a)}}{2 \cdot Z}}$$

Вариант задания 3

Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$\underline{\underline{\delta}} := d2 \quad lck := 0.5 \delta \quad \underline{\underline{B}} := d2 + \Delta \quad hckI(a) := \frac{1}{2} \cdot xcI(a)$$

$$\alpha ckI(a) := \operatorname{atan}\left(\frac{lck}{hckI(a)}\right)$$

$$aI(a) := xcI(a) \cdot \cos(\alpha ckI(a)) - 0.5 d1 \cdot \sin(\alpha ckI(a))$$

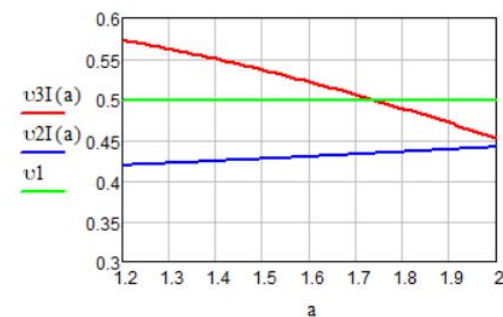
$$sI(a) := B - d1 - aI(a)$$

$$hkI(a) := 1.1 \cdot xcI(a)$$

$$bI(a) := xcI(a) \cdot \sin(\alpha ckI(a)) + 0.5 d1 \cdot \cos(\alpha ckI(a))$$

$$\Delta hI(a) := hkI(a) + 0.5 d2 - bI(a)$$

$$v3I(a) := (lck + sI(a)) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta hI(a) \cdot 10^{-3}}}$$



Выбирается минимальное значение скорости из всех предельных

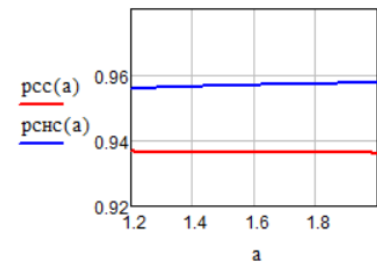
Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$pvI(a, v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v2I(a)^4}$$

Вероятность захвата η и производительность Π $v := 0, 0.005 \dots 0.6$

Заготовка - тип I (сцепляемые)

$$\eta I(a, \mu, v) := pil1c(a, \mu) \cdot pcc(a) \cdot pvI(a, v) \quad \Pi(a, \mu, v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta I(a, \mu, v)$$



Заготовка - тип II (не сцепляемые)

$$C2II(a) := \frac{xcII(a)}{d2} + \frac{2 \cdot hp}{d2}$$

$$Y2II(a) := 4 \cdot A \cdot B + 2 \cdot C2II(a) \cdot B$$

$$X2II(a) := A \cdot A + C2II(a) \cdot C2II(a) - 1$$

$$v2II(a) := \sqrt{\frac{Y2II(a) - \sqrt{Y2II(a) \cdot Y2II(a) - 4 \cdot Z \cdot X2II(a)}}{2 \cdot Z}}$$

Заготовка - тип II (не сцепляемые)

$$hckII(a) := \frac{1}{2} \cdot xcII(a) \quad \alpha ckII(a) := \operatorname{atan}\left(\frac{lck}{hckII(a)}\right)$$

$$aII(a) := xcII(a) \cdot \cos(\alpha ckII(a)) - 0.5 d1 \cdot \sin(\alpha ckII(a))$$

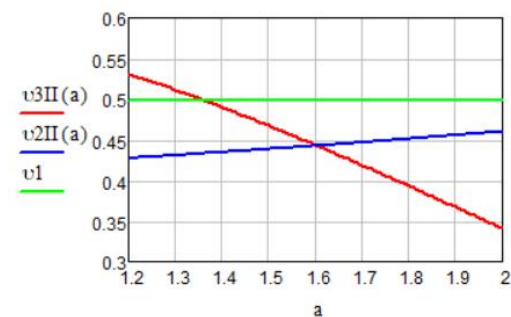
$$sII(a) := B - d1 - aII(a)$$

$$hkII(a) := 1.1 \cdot xcII(a)$$

$$bII(a) := xcII(a) \cdot \sin(\alpha ckII(a)) + 0.5 d1 \cdot \cos(\alpha ckII(a))$$

$$\Delta hII(a) := hkII(a) + 0.5 d2 - bII(a)$$

$$v3II(a) := (lck + sII(a)) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta hII(a) \cdot 10^{-3}}}$$



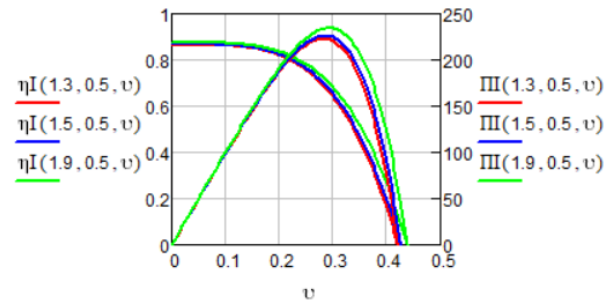
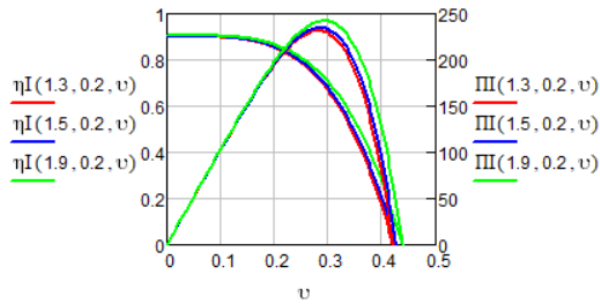
Заготовка - тип II (не сцепляемые)

при $a < 1,6$

$$pvII(a, v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v2II(a)^4}$$

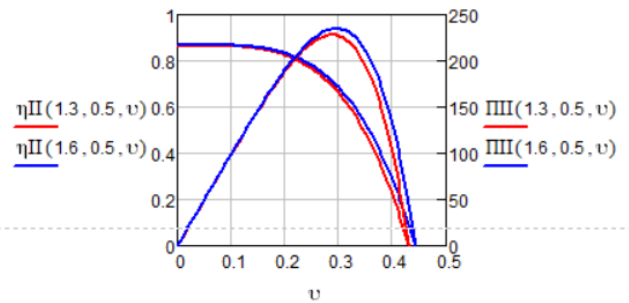
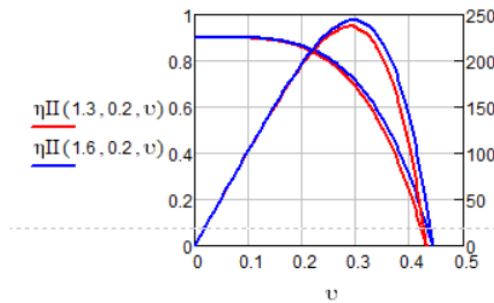
при $a > 1,6$

$$pvII2(a, v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v3II(a)^4}$$

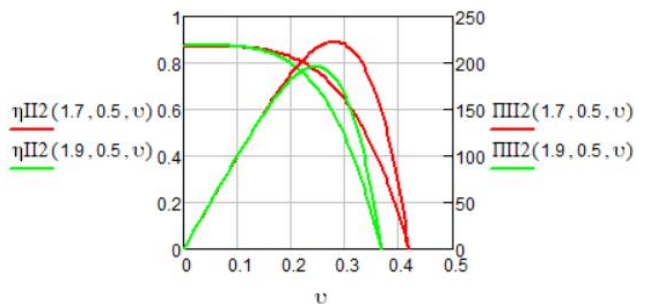
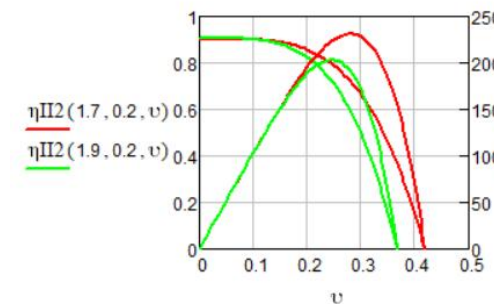


Заготовка - тип II (не сцепляемые)

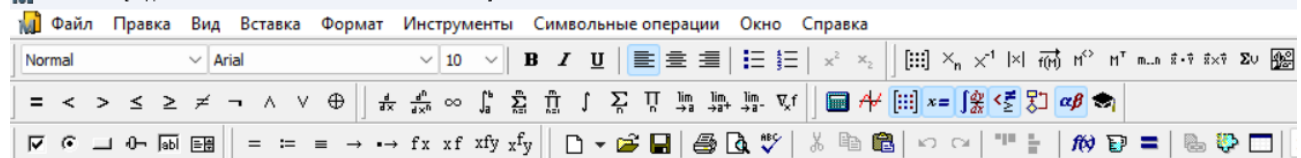
$$\eta_{II}(a, \mu, v) := \text{pil1c}(a, \mu) \cdot \text{pcc}(a) \cdot \text{pvII}(a, v) \quad \Pi_{II}(a, \mu, v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta_{II}(a, \mu, v)$$



при $a > 1.6$ $\eta_{II2}(a, \mu, v) := \text{pil1c}(a, \mu) \cdot \text{pcc}(a) \cdot \text{pvII2}(a, v) \quad \Pi_{II2}(a, \mu, v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta_{II2}(a, \mu, v)$



Mathcad - [П для III и IV типов ГРАФИКИ - ГЛАВА 3.xmcd]



Параметры заготовки $d1 := 20$ $d2 := 1.25d1$ $d10 := 0.6d1$ $\Delta := 0.1d2$ $\alpha d := 45\text{deg}$ $R_g := 7d2$
 $h(a) := a \cdot d1$ $d2 = 25$ $\Delta k := 0.2d2$
 $h1(a) := \frac{1}{5} \cdot h(a)$ $h2(a) := h(a) - h1(a)$ $g := 9.81$
 $h10(a) := 0.8 \cdot h1(a)$ $h20(a) := 0.85 \cdot h2(a)$

Глава 2.1. Вероятность, учитывающая благоприятные положения заготовок для захвата на дне бункера.
Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$d20I := 1.15 \cdot d1$$

Определение координаты центра масс фигуры

Полости: $V20I(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d20I)^2 \cdot h20(a)$ $V10(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d10)^2 \cdot h10(a)$

$$xc20I(a) := \frac{1}{2} \cdot h20(a) \quad xc10(a) := \frac{1}{2} \cdot h10(a)$$

Сплошные части: $V1(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d1)^2 \cdot h1(a)$ $V2(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d2)^2 \cdot h2(a)$ $xc1(a) := \frac{1}{2} \cdot h1(a)$ $xc2(a) := \frac{1}{2} \cdot h2(a)$

$$V(a) := V1(a) + V2(a) - V20I(a) - V10(a)$$

Вся заготовка:

$$xcI(a) := \frac{xc1(a) \cdot V1(a) + (h(a) - xc2(a)) \cdot V2(a) - (h(a) - xc20I(a)) \cdot V20I(a) - xc10(a) \cdot V10(a)}{V1(a) + V2(a) - V20I(a) - V10(a)}$$

Заготовка - тип IV (не сцепляемые) $d_{20\Pi} := 0.85 \cdot d_1$

Полость: $V_{20\Pi}(a) := \pi \cdot (0.5 \cdot d_{20\Pi})^2 \cdot h_{20}(a)$ $xc_{20\Pi}(a) := \frac{1}{2} \cdot h_{20}(a)$

Вся заготовка: $xc_{\Pi}(a) := \frac{xc_1(a) \cdot V_1(a) + (h(a) - xc_2(a)) \cdot V_2(a) - (h(a) - xc_{20\Pi}(a)) \cdot V_{20\Pi}(a)}{V_1(a) + V_2(a) - V_{20\Pi}(a)}$

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$xc_{\Pi}(1.2) = 11.159$

$$\delta Ic(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} \quad \delta IIc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcI(a)}{\sqrt{(h(a) - xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d_2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta IVc(a) := \arccos \left[\frac{h_2(a) - h(a) + xcI(a)}{\sqrt{(h_2(a) - h(a) + xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d_2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} - \arccos \left[\frac{xcI(a) - h_1(a)}{\sqrt{(xcI(a) - h_1(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta Vc(a) := \arccos \left[\frac{xcI(a) - h_1(a)}{\sqrt{(xcI(a) - h_1(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} - \arccos \left[\frac{xcI(a)}{\sqrt{(xcI(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta IIIc(a) := \frac{[360 - (\delta Ic(a) + \delta IIc(a) + 2 \delta IVc(a) + 2 \delta Vc(a))]}{2}$$

Заготовка - тип VI (не сцепляемые)

$$\delta Inc(a) := 2 \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} \quad \delta IIInc(a) := 2 \arccos \left[\frac{h(a) - xcII(a)}{\sqrt{(h(a) - xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d_2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta IVInc(a) := \arccos \left[\frac{h_2(a) - h(a) + xcII(a)}{\sqrt{(h_2(a) - h(a) + xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d_2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} - \arccos \left[\frac{xcII(a) - h_1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h_1(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta VInc(a) := \arccos \left[\frac{xcII(a) - h_1(a)}{\sqrt{(xcII(a) - h_1(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg} - \arccos \left[\frac{xcII(a)}{\sqrt{(xcII(a))^2 + 0.25 \cdot d_1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\deg}$$

$$\delta IIIInc(a) := \frac{[360 - (\delta Inc(a) + \delta IIInc(a) + 2 \delta IVInc(a) + 2 \delta VInc(a))]}{2}$$

Вероятности падения на каждую поверхность

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$pIc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta Ic(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) \quad pIIc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IIc(a) \cdot 0.5 \cdot \deg))$$

$$pIVc(a) := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos((\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a) + 2 \cdot \delta IVc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg)] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos((\delta Ic(a) + 2 \cdot \delta Vc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg)]$$

$$p1c(a) := pIc(a) + pIVc(a) \quad p2c(a) := pIIc(a) \quad p3c(a) := 1 - p1c(a) - p2c(a)$$

Заготовка - тип VI (не сцепляемые)

$a := 1.2, 1.21 \dots 2$

$$pInc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta Inc(a) \cdot 0.5 \cdot \deg)) \quad pIIInc(a) := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta IIInc(a) \cdot 0.5 \cdot \deg))$$

$$pIVInc(a) := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos((\delta Inc(a) + 2 \cdot \delta VInc(a) + 2 \cdot \delta IVInc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg)] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos((\delta Inc(a) + 2 \cdot \delta VInc(a)) \cdot 0.5 \cdot \deg)]$$

$$p1Inc(a) := pInc(a) + pIVInc(a) \quad p2Inc(a) := pIIInc(a) \quad p3Inc(a) := 1 - p1Inc(a) - p2Inc(a)$$

Вероятность P_i

$$\Phi(\mu) := \frac{1}{\deg} \cdot 2 \cdot \arccos \left[\frac{\sin(2\alpha_d) \cdot \mu + \mu \cdot \sqrt{(\sin(2\alpha_d))^2 - 4(1 + \mu^2) \cdot (\sin(\alpha_d))^2 \cdot \cos(2\alpha_d)}}{2(\sin(\alpha_d))^2 \cdot (1 + \mu^2)} \right]$$

Наибольшее и наименьшее значения вероятности P_i

Заготовка - тип III (сцепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$p_{\max 11c}(a, \mu) := p1c(a) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta Ic(a) \cdot \deg + 2 \cdot \delta IVc(a) \cdot \deg - 2 \arcsin \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$$

$$p_{\min 11c}(a) := \frac{p1c(a)}{2\pi} \cdot \arctan \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p3c(a)}{2\pi} \cdot \left(\arcsin \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right)$$

$$p_{11c}(a, \mu) := 1 - (1 - p_{\max 11c}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 11c}(a)) \cdot \frac{R \cdot \Phi(\mu) \cdot \pi}{d_2 \cdot 180}$$

Заготовка - тип IV (несцепляемые)

Вариант 1.1 - радиал., стоя, пассивное

$$\begin{aligned}
p_{\max 11nc}(a, \mu) &:= p_{1nc}(a) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\delta_{1nc}(a) \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta_{IVnc}(a) \cdot \text{deg} - 2 \cdot \text{asin} \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right) \\
p_{\min 11nc}(a) &:= \frac{p_{1nc}(a)}{2\pi} \cdot \text{atan} \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p_{3nc}(a)}{2\pi} \cdot \left(\text{asin} \left(\frac{d_2 + \Delta}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) - \text{asin} \left(\frac{d_2}{\sqrt{d_2^2 + h_2(a)^2}} \right) \right) \\
p_{11nc}(a, \mu) &:= 1 - (1 - p_{\max 11nc}(a, \mu))^3 \cdot (1 - p_{\min 11nc}(a))^{\frac{R \cdot \phi(\mu) \cdot \pi}{d_2 \cdot 180}}
\end{aligned}$$

Вероятность P_c

$$\begin{aligned}
FI &:= \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \quad FII := \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_{20I}^2 \cdot \pi}{4} \quad FIV(a) := \pi \cdot \left(\frac{d_2}{2} - \frac{d_1}{2} \right) \cdot (h(a) - h_1(a) - h_2(a)) \\
FIII(a) &:= d_2 \cdot h_2(a) \cdot \pi \quad FV(a) := d_1 \cdot h_1(a) \cdot \pi \quad FVI(a) := d_{20I} \cdot h_{20}(a) \cdot \pi
\end{aligned}$$

$$\mu_0 := 0.35 \quad \mu_{сц} := \tan(30.5 \text{ deg}) \quad zc := 6$$

$$A := \text{atan}(\mu_0) \quad A1 := \text{atan}(\mu_{сц})$$

$$F(a) := FI + FII + FIII(a) + FIV(a) + FV(a) + FVI(a)$$

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$C(a) := 6FI + 6FII + 10FIII(a) + 10FIV(a) + 10FV(a)$$

$$p_{cc}(a) := 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}zc \cdot \pi F(a)} \cdot [\sqrt{2} \cdot A \cdot (2 \cdot FI + 2FII) + A \cdot (C(a)) + \sqrt{2} \cdot A1 \cdot (2FIV(a) + 2FV(a) + 4 \cdot FVI(a))]$$

Заготовка - тип IV (не сцепляемые)

$$p_{сnc}(a) := 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}zc \cdot \pi F(a)} \cdot [\sqrt{2} \cdot A \cdot (4 \cdot FI + 4FII) + A \cdot (6FI + 6FII + 10FIII(a) + 10FIV(a) + 10FV(a))]$$

Вероятность P_v $hp := 0.5d_2$

$$A := 2 + \frac{2 \cdot \Delta}{d_2} \quad B := \frac{1}{g \cdot d_2 \cdot 10^{-3}} \quad Z := 5 \cdot B \cdot B$$

Вариант западания 1

$$C1 := 1 + \frac{2 \cdot hp}{d_2} \quad Y1 := 4 \cdot A \cdot B + 2 \cdot C1 \cdot B \quad X1 := A \cdot A + C1 \cdot C1 - 1$$

$$v1 := \sqrt{\frac{Y1 - \sqrt{Y1 \cdot Y1 - 4 \cdot Z \cdot X1}}{2 \cdot Z}} \quad v1 = 0.499$$

Вариант западания 2

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$C2I(a) := \frac{xcI(a)}{d_2} + \frac{2 \cdot hp}{d_2}$$

$$Y2I(a) := 4 \cdot A \cdot B + 2 \cdot C2I(a) \cdot B$$

$$X2I(a) := A \cdot A + C2I(a) \cdot C2I(a) - 1$$

$$v2I(a) := \sqrt{\frac{Y2I(a) - \sqrt{Y2I(a) \cdot Y2I(a) - 4 \cdot Z \cdot X2I(a)}}{2 \cdot Z}}$$

Вариант западания 3

Заготовка - тип III (сцепляемые) $\delta := d_2$ $lck := 0.5\delta$

$$\alpha_{ckI}(a) := \text{atan} \left(\frac{lck}{hckI(a)} \right) \quad B := d_2 + \Delta \quad hckI(a) := \frac{1}{2} \cdot xcI(a)$$

$$aI(a) := xcI(a) \cdot \cos(\alpha_{ckI}(a)) - 0.5d_1 \cdot \sin(\alpha_{ckI}(a))$$

$$sI(a) := B - d_1 - aI(a)$$

$$hkI(a) := 1.1 \cdot xcI(a)$$

$$bI(a) := xcI(a) \cdot \sin(\alpha_{ckI}(a)) + 0.5d_1 \cdot \cos(\alpha_{ckI}(a))$$

$$\Delta hI(a) := hkI(a) + 0.5d_2 - bI(a)$$

$$v3I(a) := (lck + sI(a)) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta hI(a) \cdot 10^{-3}}}$$

Заготовка - тип IV (не сцепляемые)

$$C2II(a) := \frac{xcII(a)}{d_2} + \frac{2 \cdot hp}{d_2}$$

$$Y2II(a) := 4 \cdot A \cdot B + 2 \cdot C2II(a) \cdot B$$

$$X2II(a) := A \cdot A + C2II(a) \cdot C2II(a) - 1$$

$$v2II(a) := \sqrt{\frac{Y2II(a) - \sqrt{Y2II(a) \cdot Y2II(a) - 4 \cdot Z \cdot X2II(a)}}{2 \cdot Z}}$$

Заготовка - тип IV (не сцепляемые)

$$hckII(a) := \frac{1}{2} \cdot xcII(a) \quad \alpha_{ckII}(a) := \text{atan} \left(\frac{lck}{hckII(a)} \right)$$

$$aII(a) := xcII(a) \cdot \cos(\alpha_{ckII}(a)) - 0.5d_1 \cdot \sin(\alpha_{ckII}(a))$$

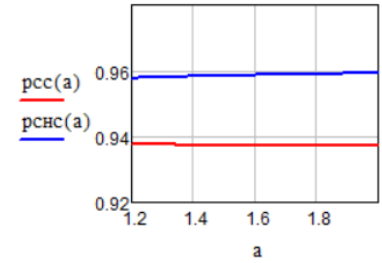
$$sII(a) := B - d_1 - aII(a)$$

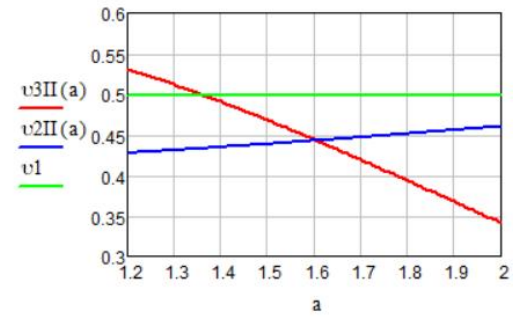
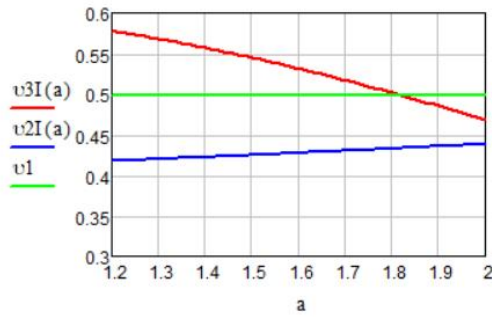
$$hkII(a) := 1.1 \cdot xcII(a)$$

$$bII(a) := xcII(a) \cdot \sin(\alpha_{ckII}(a)) + 0.5d_1 \cdot \cos(\alpha_{ckII}(a))$$

$$\Delta hII(a) := hkII(a) + 0.5d_2 - bII(a)$$

$$v3II(a) := (lck + sII(a)) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta hII(a) \cdot 10^{-3}}}$$





Выбирается минимальное значение скорости из всех предельных

Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$pvI(a, v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v2I(a)^4}$$

Заготовка - тип IV (не сцепляемые)

при $a < 1,6$

$$pvII(a, v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v2II(a)^4}$$

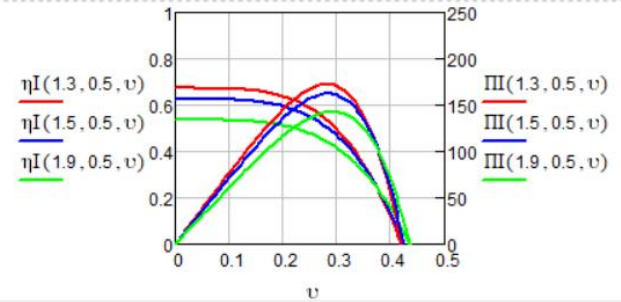
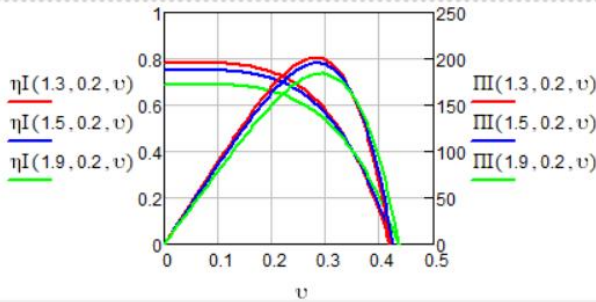
при $a > 1,6$

$$pvII2(a, v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v3II(a)^4}$$

Вероятность захвата η и производительность Π $v := 0,005 \dots 0,6$

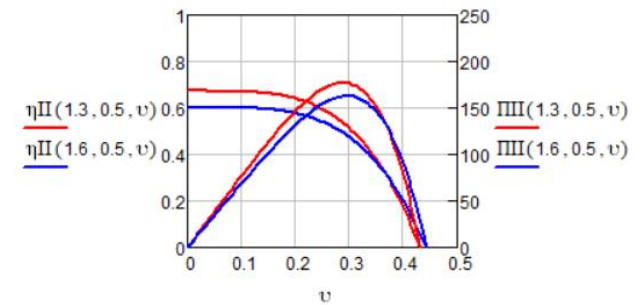
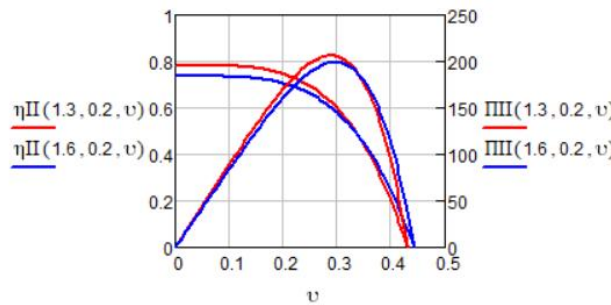
Заготовка - тип III (сцепляемые)

$$\eta I(a, \mu, v) := pilIc(a, \mu) \cdot pcc(a) \cdot pvI(a, v) \quad \Pi(a, \mu, v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta I(a, \mu, v)$$

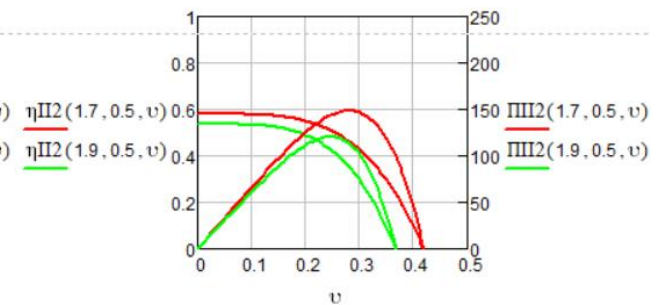
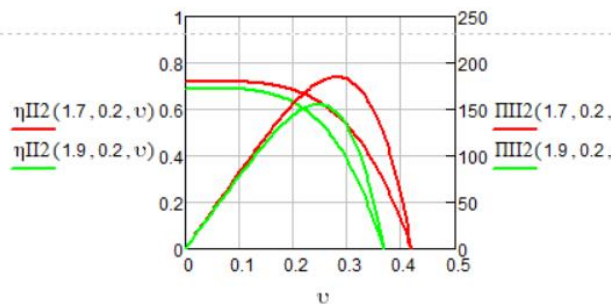


Заготовка - тип IV (не сцепляемые)

при $a < 1,6$ $\eta II(a, \mu, v) := pilIc(a, \mu) \cdot pcc(a) \cdot pvII(a, v) \quad \Pi II(a, \mu, v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta II(a, \mu, v)$



при $a > 1,6$ $\eta II2(a, \mu, v) := pilIc(a, \mu) \cdot pcc(a) \cdot pvII2(a, v) \quad \Pi II2(a, \mu, v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta II2(a, \mu, v)$



**ПРОГРАММЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ВЕРОЯТНОСТИ ЗАХВАТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ДВУХ ВИДОВ ЗАГОТОВОК ТИПА II**

Mathcad - [Эксперимент тип II - графики теор вид 2.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

Параметры заготовки $d1 := 13$ $d2 := 16$ $d20 := 12.5$ $\Delta := 0.25d2$ $\alpha_d := 45\text{deg}$ $R_m := 228$ $\mu := 0.36$ $hp := 8$
 $h := 24$ $h1 := 3$ $h2 := 20$ $h20 := 13.51$ $\Delta k := 0.2d2$ $g := 9.81$ $\delta := d2$ $lck := 0.5\delta$ $\alpha ck := 30\text{deg}$

Заготовка - тип II, вид 2 (несцепляемые) $\frac{h}{d2} = 1.5$ $B := d2 + \Delta$

Определение координаты центра масс фигуры

$xc1 := \frac{1}{2} \cdot h1$ $xc2 := \frac{1}{2} \cdot h2$ $V1 := \pi \cdot (0.5 \cdot d1)^2 \cdot h1$ $V2 := \pi \cdot (0.5 \cdot d2)^2 \cdot h2$
 $V12 := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (h - h1 - h2) \cdot [(0.5 \cdot d2)^2 + (0.5 \cdot d1) \cdot (0.5 \cdot d2) + (0.5 \cdot d1)^2]$ $xc20 := \frac{1}{2} \cdot h20$
 $xc12 := \frac{h - h1 - h2}{4} \cdot \frac{(0.5 \cdot d2)^2 + 2(0.5 \cdot d2) \cdot (0.5 \cdot d1) + 3 \cdot (0.5 \cdot d1)^2}{(0.5 \cdot d2)^2 + (0.5 \cdot d2) \cdot (0.5 \cdot d1) + (0.5 \cdot d1)^2}$ $V20 := \pi \cdot (0.5 \cdot d20)^2 \cdot h20$
 $xc := \frac{xc1 \cdot V1 + (h1 + xc12) \cdot V12 + (h - xc2) \cdot V2 - (h - xc20) \cdot V20}{V1 + V2 + V12 - V20}$

$\delta I := 2 \arccos \left[\frac{xc}{\sqrt{(xc)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$ $\delta II := 2 \arccos \left[\frac{h - xc}{\sqrt{(h - xc)^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$
 $\delta IV := \arccos \left[\frac{h2 - h + xc}{\sqrt{(h2 - h + xc)^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xc - h1}{\sqrt{(xc - h1)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$
 $\delta V := \arccos \left[\frac{xc - h1}{\sqrt{(xc - h1)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xc}{\sqrt{(xc)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$ $\delta III := \frac{[360 - (\delta I + \delta II + 2\delta IV + 2\delta V)]}{2}$
 $pI := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta I \cdot 0.5 \cdot \text{deg}))$ $pII := \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta II \cdot 0.5 \cdot \text{deg}))$
 $pIV := \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I + 2 \cdot \delta V + 2 \cdot \delta IV) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I + 2 \cdot \delta V) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}]]$

$p1 := pI + pIV$ $p2 := pII$ $p3 := 1 - p1 - p2$

Вероятность Pi

$\phi := \frac{1}{\text{deg}} \cdot 2 \cdot \arccos \left[\frac{\sin(2\alpha_d) \cdot \mu + \mu \cdot \sqrt{(\sin(2\alpha_d))^2 - 4(1 + \mu^2) \cdot (\sin(\alpha_d))^2 \cdot \cos(2\alpha_d)}}{2(\sin(\alpha_d))^2 \cdot (1 + \mu^2)} \right]$ $\phi = 100.804$

$p_{\text{imax}} := p1 + \frac{p3}{2\pi} \cdot \left(\delta I \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IV \cdot \text{deg} - 2 \arcsin \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_d)} \right) \right)$
 $p_{\text{imin}} := \frac{p1}{2\pi} \cdot \arctan \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p3}{2\pi} \cdot \left(\arcsin \left(\frac{B}{\sqrt{d2^2 + h2^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2^2}} \right) \right)$
 $\frac{R \cdot \phi \cdot \pi}{d2 \cdot 180}$
 $pi := 1 - (1 - p_{\text{imax}})^3 \cdot (1 - p_{\text{imin}})$ $pi = 0.88$

Вероятность Pc

$FI := \frac{d1^2 \cdot \pi}{4}$ $FII := \frac{d2^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d20^2 \cdot \pi}{4}$ $FIV := \pi \cdot \left(\frac{d2}{2} - \frac{d1}{2} \right) \cdot (h - h1 - h2)$ $FIII := d2 \cdot h2 \cdot \pi$ $FV := d1 \cdot h1 \cdot \pi$ $FVI := d20 \cdot h20 \cdot \pi$
 $F := FI + FII + FIII + FIV + FV + FVI$

$$\mu_0 := 0.35 \quad zc := 6 \quad A := \text{atan}(\mu_0)$$

$$p_{\text{снс}} := 1 - \frac{A}{2\sqrt{2}zc \cdot \pi F} \left[\sqrt{2} \cdot (4 \cdot FI + 4 \cdot FII) + (6FI + 6FII + 10FIII + 10FIV + 10FV) \right]$$

$$p_{\text{снс}} = 0.954$$

Вероятность P_v

$$A := 2 + \frac{2 \cdot \Delta}{d2} \quad B1 := \frac{1}{g \cdot d2 \cdot 10^{-3}} \quad Z := 5 \cdot B1 \cdot B1$$

Вариант западания 1

$$C1 := 1 + \frac{2 \cdot hp}{d2} \quad Y1 := 4 \cdot A \cdot B1 + 2 \cdot C1 \cdot B1 \quad X1 := A \cdot A + C1 \cdot C1 - 1$$

$$v1 := \sqrt{\frac{Y1 - \sqrt{Y1 \cdot Y1 - 4 \cdot Z \cdot X1}}{2 \cdot Z}} \quad v1 = 0.409$$

Вариант западания 2

$$C2 := \frac{xc}{d2} + \frac{2 \cdot hp}{d2}$$

$$Y2 := 4 \cdot A \cdot B1 + 2 \cdot C2 \cdot B1 \quad X2 := A \cdot A + C2 \cdot C2 - 1$$

$$v2 := \sqrt{\frac{Y2 - \sqrt{Y2 \cdot Y2 - 4 \cdot Z \cdot X2}}{2 \cdot Z}} \quad v2 = 0.376$$

Вариант западания 3

$$hck := lck \cdot \sin(\alpha_{ck}) \quad a := xc \cdot \cos(\alpha_{ck}) - 0.5d1 \cdot \sin(\alpha_{ck})$$

$$s := B - d1 - a \quad hk := 5 \quad b := xc \cdot \sin(\alpha_{ck}) + 0.5d1 \cdot \cos(\alpha_{ck}) \quad \Delta h := hk + 0.5d2 - b$$

$$v3 := (lck + s) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3}}}$$

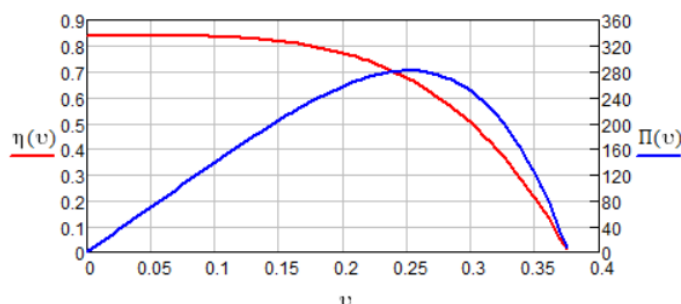
$$v3 = 0.435$$

Выбирается минимальное значение скорости из всех предельных $v2$

$$p_v(v) := 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v2^4}$$

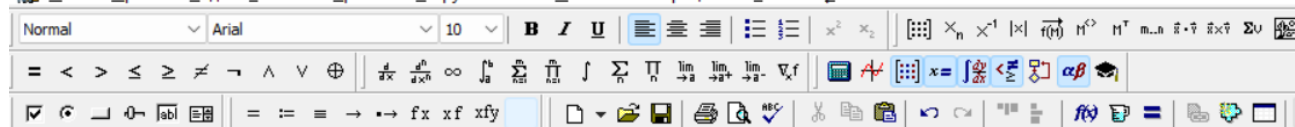
Вероятность захвата η и производительность Π $v := 0, 0.005 \dots v2$

$$\eta(v) := p_i \cdot p_{\text{снс}} \cdot p_v(v) \quad \Pi(v) := \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta(v)$$



Mathcad - [Эксперимент тип II - графики теор вид 3.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка



Параметры заготовки $d1 := 9$ $d2 := 16$ $d20 := 14$ $\Delta := 0.25d2$ $\alpha_d := 45 \text{ deg}$ $R := 228$ $\mu := 0.36$ $hp := 8$

$h := 30.5$ $h1 := 3$ $h2 := 24$ $h20 := 20.5$ $\Delta k := 0.2d2$ $g := 9.81$ $\delta := d2$ $lck := 0.5\delta$ $\alpha_{ck} := 30 \text{ deg}$

Заготовка - тип II, вид 3 (цепляемые)

$$\frac{h}{d2} = 1.906 \quad B := d2 + \Delta \quad B = 20$$

Определение координаты центра масс фигуры

$$xc1 := \frac{1}{2} \cdot h1 \quad xc2 := \frac{1}{2} \cdot h2 \quad V1 := \pi \cdot (0.5 \cdot d1)^2 \cdot h1 \quad V2 := \pi \cdot (0.5 \cdot d2)^2 \cdot h2$$

$$V12 := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (h - h1 - h2) \cdot [(0.5 \cdot d2)^2 + (0.5 \cdot d1) \cdot (0.5 \cdot d2) + (0.5 \cdot d1)^2] \quad xc20 := \frac{1}{2} \cdot h20$$

$$xc12 := \frac{h - h1 - h2}{4} \cdot \frac{(0.5 \cdot d2)^2 + 2(0.5 \cdot d2) \cdot (0.5 \cdot d1) + 3 \cdot (0.5 \cdot d1)^2}{(0.5 \cdot d2)^2 + (0.5 \cdot d2) \cdot (0.5 \cdot d1) + (0.5 \cdot d1)^2} \quad V20 := \pi \cdot (0.5 \cdot d20)^2 \cdot h20$$

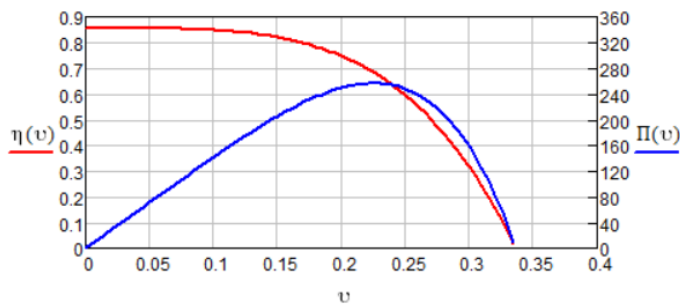
$$xc := \frac{xc1 \cdot V1 + (h1 + xc12) \cdot V12 + (h - xc2) \cdot V2 - (h - xc20) \cdot V20}{V1 + V2 + V12 - V20}$$

$$\delta I := 2 \arccos \left[\frac{xc}{\sqrt{(xc)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} \quad \delta II := 2 \arccos \left[\frac{h - xc}{\sqrt{(h - xc)^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta IV := \arccos \left[\frac{h2 - h + xc}{\sqrt{(h2 - h + xc)^2 + 0.25 \cdot d2^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xc - h1}{\sqrt{(xc - h1)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}}$$

$$\delta V := \arccos \left[\frac{xc - h1}{\sqrt{(xc - h1)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} - \arccos \left[\frac{xc}{\sqrt{(xc)^2 + 0.25 \cdot d1^2}} \right] \cdot \frac{1}{\text{deg}} \quad \delta III := \frac{[360 - (\delta I + \delta II + 2\delta IV + 2\delta V)]}{2}$$

$$\begin{aligned}
pI &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta I \cdot 0.5 \cdot \text{deg})) & pII &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos(\delta II \cdot 0.5 \cdot \text{deg})) \\
pIV &:= \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I + 2 \cdot \delta V + 2 \cdot \delta IV) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}]] - \frac{1}{2} \cdot [1 - \cos[(\delta I + 2 \cdot \delta V) \cdot 0.5 \cdot \text{deg}]] \\
p1 &:= pI + pIV & p2 &:= pII & p3 &:= 1 - p1 - p2 \\
\text{Вероятность } P_i & & & & & \\
\phi &:= \frac{1}{\text{deg}} \cdot 2 \cdot \arccos \left[\frac{\sin(2\alpha_n) \cdot \mu + \mu \cdot \sqrt{(\sin(2\alpha_n))^2 - 4 \left(1 + \mu^2\right) \cdot (\sin(\alpha_n))^2 \cdot \cos(2\alpha_n)}}{2 (\sin(\alpha_n))^2 \cdot (1 + \mu^2)} \right] & \phi &= 100.804 \\
p_{\max} &:= p1 + \frac{p3}{2\pi} \cdot \left(\delta I \cdot \text{deg} + 2 \cdot \delta IV \cdot \text{deg} - 2 \cdot \arcsin \left(\frac{\mu}{\tan(\alpha_n)} \right) \right) \\
p_{\min} &:= \frac{p1}{2\pi} \cdot \arctan \left(\frac{\Delta}{\Delta k} \right) + \frac{p3}{2\pi} \cdot \left(\arcsin \left(\frac{B}{\sqrt{d2^2 + h2^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{d2}{\sqrt{d2^2 + h2^2}} \right) \right) \\
& \quad \frac{R \cdot \phi \cdot \pi}{d2 \cdot 180} \\
p_i &:= 1 - (1 - p_{\max})^3 \cdot (1 - p_{\min}) & p_i &= 0.911 \\
\text{Вероятность } P_c & & & & & \\
FI &:= \frac{d1^2 \cdot \pi}{4} & FII &:= \frac{d2^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d20^2 \cdot \pi}{4} & FIV &:= \pi \cdot \left(\frac{d2}{2} - \frac{d1}{2} \right) \cdot (h - h1 - h2) & FIII &:= d2 \cdot h2 \cdot \pi & FV &:= d1 \cdot h1 \cdot \pi & FVI &:= d20 \cdot h20 \cdot \pi \\
F &:= FI + FII + FIII + FIV + FV + FVI \\
\mu_0 &:= 0.35 & \mu_{\text{сш}} &:= \tan(30.5 \text{ deg}) & zc &:= 6 \\
A &:= \arctan(\mu_0) & A1 &:= \arctan(\mu_{\text{сш}}) \\
C &:= 6FI + 6FII + 10FIII + 10FIV + 10FV \\
p_{cc} &:= 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}zc \cdot \pi F} \cdot [\sqrt{2} \cdot A \cdot (2 \cdot FI + 2FII) + A \cdot C + \sqrt{2} \cdot A1 \cdot (2FIV + 2FV + 4 \cdot FVI)] & p_{cc} &= 0.938 \\
\text{Вероятность } P_v & & & & & \\
A &:= 2 + \frac{2 \cdot \Delta}{d2} & B1 &:= \frac{1}{g \cdot d2 \cdot 10^{-3}} & Z &:= 5 \cdot B1 \cdot B1 \\
\text{Вариант западания 1} & & & & & \text{Вариант западания 2} \\
C1 &:= 1 + \frac{2 \cdot hp}{d2} & Y1 &:= 4 \cdot A \cdot B1 + 2 \cdot C1 \cdot B1 & X1 &:= A \cdot A + C1 \cdot C1 - 1 & C2 &:= \frac{xc}{d2} + \frac{2 \cdot hp}{d2} \\
v1 &:= \sqrt{\frac{Y1 - \sqrt{Y1 \cdot Y1 - 4 \cdot Z \cdot X1}}{2 \cdot Z}} & v1 &= 0.409 & Y2 &:= 4 \cdot A \cdot B1 + 2 \cdot C2 \cdot B1 & X2 &:= A \cdot A + C2 \cdot C2 - 1 \\
v2 &:= \sqrt{\frac{Y2 - \sqrt{Y2 \cdot Y2 - 4 \cdot Z \cdot X2}}{2 \cdot Z}} & v2 &= 0.386 \\
\text{Вариант западания 3} & & & & & \\
hck &:= lck \cdot \sin(\alpha_{ck}) & a &:= xc \cdot \cos(\alpha_{ck}) - 0.5d1 \cdot \sin(\alpha_{ck}) \\
s &:= B - d1 - a & hk &:= 7 & b &:= xc \cdot \sin(\alpha_{ck}) + 0.5d1 \cdot \cos(\alpha_{ck}) & \Delta h &:= hk + 0.5d2 - b \\
v3 &:= (lck + s) \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3}}} & v3 &= 0.337 \\
\text{Выбирается минимальное значение скорости из всех предельных } v3 & & p_v(v) &:= 1 - v^4 \cdot \frac{1}{v3^4} \\
\text{Вероятность захвата } \eta \text{ и производительность } \Pi & v &:= 0, 0.005 \dots v3 & \eta(v) &:= p_i \cdot p_{cc} \cdot p_v(v) & \Pi(v) &:= \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{d2 + \Delta + \delta} \cdot \eta(v)
\end{aligned}$$



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И
ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Заготовки с одной полостью на торце большого диаметра, тип II, вид 2														Радиус диска, м и шаг карманов					
N=10	2	R	0,228	t	0,036	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	Частота вращения, об./мин	Проверка по критерию Романовского					
1	62	0,58	95	0,50	127	1,15	162	0,62	173	0,77	192	0,82	203	1,06	215	0,92	218	1,93	235
2	65	-0,99	99	-0,83	135	-0,49	170	-0,75	185	-1,19	203	-0,88	215	-0,64	234	-1,47	238	-0,38	255
3	63	0,05	97	-0,17	132	0,12	166	-0,07	169	1,42	198	-0,11	210	0,07	222	0,04	238	-0,38	249
4	61	1,10	93	1,16	129	0,74	159	1,13	176	0,28	189	1,29	207	0,50	219	0,41	229	0,66	241
5	66	-1,52	101	-1,49	138	-1,11	173	-1,27	182	-0,70	207	-1,50	219	-1,20	233	-1,34	241	-0,73	234
6	64	-0,47	96	0,17	125	1,56	168	-0,41	171	1,10	195	0,36	199	1,63	208	1,79	233	0,20	242
7	60	1,62	98	-0,50	134	-0,29	161	0,79	188	-1,69	190	1,13	212	-0,21	226	-0,46	225	1,12	238
8	63	0,05	92	1,49	140	-1,52	175	-1,61	178	-0,05	205	-1,19	221	-1,49	225	-0,34	247	-1,42	259
9	62	0,58	100	-1,16	130	0,54	158	1,30	180	-0,38	193	0,67	205	0,78	217	0,66	236	-0,15	230
10	65	-0,99	94	0,83	136	-0,70	164	0,27	175	0,44	201	-0,57	214	-0,50	224	-0,21	242	-0,84	247
	0,048	0,072	0,095	0,119	0,131	0,143	0,155	0,167	0,179	0,191	0,203	0,215	0,227	0,239	0,251	0,263	0,275	0,287	0,300
	79,55	119,32	159,09	198,87	218,75	238,64	258,53	278,41	298,30	318,19	338,07	357,95	377,83	397,71	417,60	437,48	457,36	477,24	497,12
	63,10	96,50	132,60	165,60	177,70	197,30	210,50	222,30	234,70	247,10	259,50	271,90	284,30	296,70	309,10	321,50	333,90	346,30	358,70
	0,793	0,809	0,833	0,857	0,881	0,905	0,929	0,953	0,977	1,001	1,025	1,049	1,073	1,097	1,121	1,145	1,169	1,193	1,217
	1,91	3,03	4,86	5,83	6,11	6,45	7,06	7,97	8,67	9,40	10,13	10,86	11,59	12,32	13,05	13,78	14,51	15,24	15,97
	3,66	9,17	23,60	34,04	37,34	41,57	49,83	63,57	75,12	88,44	101,76	115,08	128,40	141,72	155,04	168,36	181,68	195,00	208,32
	3,03	3,14	3,66	3,52	3,44	3,27	3,35	3,59	3,69	3,87	4,07	4,27	4,47	4,67	4,87	5,07	5,27	5,47	5,67
	-0,06	0,00	-0,07	0,32	0,30	0,21	-0,10	-0,16	-0,68	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
	1,19	1,88	3,01	3,62	3,79	4,00	4,38	4,94	5,37	5,83	6,29	6,75	7,21	7,67	8,13	8,59	9,05	9,51	9,97
Заготовки с одной полостью на торце большого диаметра, тип II, вид 3														Радиус диска, м и шаг карманов					
N=10	2	R	0,228	t	0,036	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	Частота вращения, об./мин	Проверка по критерию Романовского					
1	70	0,37	98	0,77	132	0,50	165	0,76	174	1,51	195	0,76	203	1,16	220	0,86	221	1,32	235
2	73	-1,22	103	-1,16	137	-1,16	172	-1,01	185	-0,97	207	-1,22	215	-0,67	233	-1,00	243	-1,32	252
3	71	-0,16	100	0,00	134	-0,17	168	0,00	181	-0,07	200	-0,07	210	0,09	226	0,00	235	-0,36	243
4	69	0,90	97	1,16	130	1,16	163	1,27	178	0,61	193	1,09	207	0,55	218	1,15	229	0,36	230
5	74	-1,75	104	-1,55	138	-1,49	174	-1,52	188	-1,65	209	-1,55	219	-1,28	237	-1,58	242	-1,20	258
6	68	1,43	99	0,39	129	1,49	169	-0,25	175	1,29	198	0,26	201	1,47	229	-0,43	223	1,08	229
7	72	-0,69	102	-0,77	135	-0,50	166	0,51	183	-0,52	202	-0,39	212	-0,21	215	1,58	238	-0,72	247
8	71	-0,16	96	1,55	133	0,17	171	-0,76	180	0,16	191	1,42	220	-1,43	231	-0,72	224	0,96	253
9	70	0,37	101	-0,39	136	-0,83	162	1,52	179	0,38	205	-0,89	205	0,85	223	0,43	226	0,72	238
10	69	0,90	100	0,00	131	0,83	170	-0,51	184	-0,75	196	0,59	214	-0,52	228	-0,29	239	-0,84	241
	0,048	0,072	0,095	0,119	0,131	0,143	0,155	0,167	0,179	0,191	0,203	0,215	0,227	0,239	0,251	0,263	0,275	0,287	0,300
	79,55	119,32	159,09	198,87	218,75	238,64	258,53	278,41	298,30	318,19	338,07	357,95	377,83	397,71	417,60	437,48	457,36	477,24	497,12
	70,7	100,0	133,5	168,0	180,7	199,6	210,6	226,0	232,0	242,6	252,2	261,8	271,4	281,0	290,6	300,2	309,8	319,4	329,0
	0,889	0,839	0,839	0,845	0,826	0,836	0,815	0,812	0,778	0,762	0,732	0,702	0,672	0,642	0,612	0,582	0,552	0,522	0,492
	1,89	2,58	3,03	3,94	4,42	6,08	6,55	6,98	8,34	9,88	11,32	12,76	14,20	15,64	17,08	18,52	19,96	21,40	22,84
	3,57	6,67	9,17	15,56	19,57	36,93	42,93	48,67	69,56	97,60	125,64	153,68	181,72	209,76	237,80	265,84	293,88	321,92	350,00
	2,67	2,58	2,27	2,35	2,45	3,04	3,11	3,09	3,59	4,07	4,55	5,03	5,51	5,99	6,47	6,95	7,43	7,91	8,39
	0,42	0,00	0,00	-0,14	0,01	0,21	0,00	-0,10	0,02	0,09	0,16	0,23	0,30	0,37	0,44	0,51	0,58	0,65	0,72
	1,17	1,60	1,88	2,44	2,74	3,77	4,06	4,32	5,17	6,12	7,07	8,02	8,97	9,92	10,87	11,82	12,77	13,72	14,67

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ДОКУМЕНТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

«Утверждаю»
Генеральный директор
АО «Тульский патронный завод»



А К Т
об использовании результатов
научных исследований диссертационной работы
Богодяжа Артема Евгеньевича

Акт подтверждает использование в производстве АО «Тульский патронный завод» следующих результатов исследований, изложенных в диссертационной работе Богодяжа А.Е. на соискание ученой степени кандидата технических наук по разработке усовершенствованной конструкции универсального бункерного загрузочно-ориентирующего устройства (БЗУ) с наклонным диском для асимметричных заготовок с внутренними полостями по торцам.

Использование в производственном процессе предприятия предложенной конструкции усовершенствованного универсального БЗУ и методики его проектирования позволяют автоматизировать процесс загрузки различных по форме и размерам асимметричных заготовок с внутренними полостями по торцам, быстро переналадить БЗУ с одного типа заготовок на другой, сократить сроки и трудоемкость проектирования БЗУ для новых видов заготовок.

Разработанные ограничения на параметры органов захвата и ориентирования усовершенствованного универсального БЗУ обеспечивают высокую надежность процесса загрузки технологического оборудования, при котором из БЗУ не выдавались неориентированные заготовки, и требуемую производительность БЗУ с возможностью регулировки частоты вращения диска на базе разработанных математических моделей вероятности захвата, позволяющих с высокой для практики точностью спрогнозировать значения производительности универсального БЗУ для широкой номенклатуры заготовок.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований диссертации Богодяжа А.Е. обеспечивают создание в патронном производстве эффективных высокопроизводительных технологических систем, в том числе на основе роторных технологических машин.

Экономический эффект от внедрения в производство результатов исследований составил 1,18 млн. руб. в год.

Главный технолог
патронного производства

Начальник
патронного производства

О.Е. Проняев

М.С. Климов