

## Конфигурируемый захват манипулятора

<sup>1</sup>Е. В. Чукасова-Ильюшкина, <sup>2</sup>Е. С. Данилов

<sup>1</sup>Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Лацит – Лаборатория цифровых технологий»  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Роботизация оборудования, предназначенного для обувной промышленности, предусматривает использование особых инструментов, которые применимы при работе с такими материалами как натуральная кожа и материалами, приближенными по свойствам к натуральной коже. Технологический процесс изготовления верха обуви из натуральной кожи или материалов, ей подобных, подразумевает формирование уникальных деталей каждый раз при смене ассортимента, таким образом, возникает необходимость в разработке такого приспособления, которое будет свободно конфигурироваться под форму уникальных деталей и извлекать их из раскройного ковра, перемещая в зону комплектации. Решением поставленной технологической задачи является создание конфигурируемого захвата манипулятора, содержащего неподвижные и подвижные рельсы, подвижность последних обеспечена двигателями. В свою очередь подвижные рельсы имеют схватные элементы, в качестве которых возможны различные варианты (присоски, иголки, пальцы-зажимы). Число устанавливаемых схватных элементов 4 – по одной на каждой стороне подвижного рельса.

Целью исследования является исключение неоправданного многообразия возможных вариантов схватных элементов, применимых для плоских и гибких деталей, и установление определенных закономерностей и рекомендаций в их выборе. Исследования проводились эмпирическим путём с применением следующих методов: наблюдение, сравнение, измерение и эксперимент. По результатам проведённого исследования установлено следующее: для извлечения деталей кроя из раскройного ковра натуральной кожи рекомендуется использование присосок производства SCHMALZ (Германия) SFF 20 каучук, SFF20 полиуретан, SPF 17.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для предприятий обувной, текстильной промышленности, использующих роботизированные линии и вакуумные инструменты.

*Ключевые слова:* робот-манипулятор, конфигурируемый захват, присоски, вакуум, извлечение.

## Configurable Manipulator Grip

<sup>1</sup>Ekaterina V. Chukasova-Ilyushkina, <sup>2</sup>Evgeniy S. Danilov

<sup>1</sup>Educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Limited liability Company "Lacit – Laboratory of Digital Technologies"  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Robotization of equipment intended for the shoe industry involves the use of special tools that are applicable when working with materials such as leather and materials similar in properties to natural leather. The technological process of manufacturing shoe uppers from genuine leather or similar materials is the formation of unique parts each time the assortment changes. Thus, there is a need to develop a device that will be freely configured to fit the shape of unique parts and extract them from the cutting mat, moving the cut parts to the assembly area. The solution to this technological problem is to create a configurable gripper for the manipulator, containing fixed and movable rails, the mobility of the latter being provided by motors. In turn, the movable rails have gripping elements, which can be of various types (suction cups, needles, pin clamps). The number of gripping elements installed is 4 – one on each side of the movable rail. The purpose of the study is to eliminate the unjustified diversity of possible options for gripping elements applicable to flat and flexible parts, and to establish certain patterns and recommendations for their selection. The studies were conducted empirically using the following methods: observation, comparison, measurement and experiment. Based on the results of the conducted research, the following was established: for extracting cut parts from a cutting mat of genuine leather, it is recommended to use suction cups manufactured by SCHMALZ (Germany) SFF 20 rubber, SFF20 polyurethane, SPF 17.

The results of the research can be recommended for enterprises in the shoe and textile industries where robotic lines and vacuum tools are used.

*Keywords: robotic arm, configurable gripper, suction, vacuum, extraction.*

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие техники и технологии в обувном производстве требуют от предприятий решения производственно-технических задач, предусматривающих внедрение в производство нового технологического оборудования, использующего самые передовые решения научно-технического прогресса в области искусственного интеллекта, машинного зрения, программирования, современного проектирования автоматизированных систем и роботизации, способных в автономном режиме без участия человека реализовывать практически все технологические операции [1].

Расширение роботизации во многих сферах производства предусматривает применение роботоманипуляторов, при этом наиболее роботизированными являются операции, заменяющие человеческий труд на примитивных и простых действиях, таких как взять, перенести, положить, выполняемые захватными устройствами.

Патентно-информационный поиск показал разнообразие захватных устройств, применяемых для деталей свободной формы.

В описании к изобретению [2] раскрыто захватное устройство, содержащее неподвижный корпус с радиальными пазами, электропривод, закрепленный посредством кронштейна на неподвижном корпусе устройства, зафиксированный на валу электропривода пазовый спиральный кулачок с рабочей поверхностью в форме спирального диска, ползуны, кинематически связанные с пазовым спиральным кулачком и перемещающиеся по радиальным пазам, рабочие элементы, в качестве рабочих элементов захватного устройства используются четырехзвенные коромыслово-ползунные шарнирные рычажные механизмы, находящиеся в кинематической связи с пазовым спиральным кулачком, при этом ползуны выполняют как функцию толкателей в кулачковых парах с пазовым спиральным кулачком, так и функцию ползунков в четырехзвенных коромыслово-ползунных шарнирных рычажных механизмах, приводящих в движение шатунные звенья каждого из присоединенных рычажных механизмов, а один из рабочих элементов сделан с большей поверхностью контакта по сравнению с остальными рабочими элементами, которые, в свою очередь, развернуты под углом по отношению к перпендикуляру к траекториям движения ползунков. Полезный результат представленного технического решения заключается в увеличении рабочего диапазона, в обеспечении захвата предметов различ-

ных типов, формы и габаритов, и удержания их в требуемом пространственном положении, а также в уменьшении массы и габаритов устройства.

В описании к изобретению [3] представлен вакуумный захватный агрегатный модуль, содержащий захватную головку в виде безнасосной присоски, закрепленной на штоке привода ее осевого перемещения, отличающийся тем, что привод осевого перемещения выполнен в виде торообразной герметичной гибкой нерастяжимой камеры с избыточным давлением воздуха, охватывающей шток, соединенный тягой с электромеханическим приводным механизмом перемещения захватной головки. Полезный результат вакуумного агрегатного модуля заключается в применении безнасосной вакуумной захватной головки и камерного привода ее перемещения.

В европейской патентной заявке [4] описано гибкое захватное устройство для системы пакетирования деталей, содержащее крепежный фитинг манипулятора, один основной направляющий рельс, соединенный с фитингом крепления манипулятора, по меньшей мере один подвижный направляющий рельс, установленный на основном направляющем рельсе и выполненный с возможностью перемещения вдоль него, по меньшей мере два захватных элемента, установленных на подвижном направляющем рельсе и выполненных с возможностью перемещения вдоль него.

Однако уникальность материалов, формы переносимых деталей не позволяют применить существующие технические решения, а предусматривают использование устройства захвата манипулятора, конструкция которого обеспечит конфигурирование последнего под каждый захватываемый объект уникальной формы в автоматическом режиме.

Исследованию конфигурирования роботов манипуляторов и их захватных устройств под уникальные объекты посвящены многие научные работы. Так работа [5] направлена на исследование процесса управления манипулятором, оснащенным захватным устройством, при выполнении в автоматическом режиме операции захвата не кооперируемого объекта. Решение задачи включает этапы планирования и выполнения. При планировании происходит определение координат точек контакта на поверхности объекта, а также координат манипулятора и пальцев кисти захватного устройства в момент захвата. При выполнении операции происходит перемещение манипулятора и кисти из исходного положения

в запланированное положение. В результате исследования показано, что при планировании захвата в системе рука-кость-объект можно обеспечить желаемые свойства даже в случае, когда эти свойства не обеспечиваются в системе кисть-объект. Формально это достигается надлежащим выбором компонент матрицы Якоби манипулятора, на практике – выбором соответствующей конфигурации его кинематической цепи. В работе [6] рассмотрен пальцевый схват, применяемый в швейной промышленности для выполнения погрузочно-разгрузочных работ с достаточной точностью ориентирования, что достигается соответствующим программным обеспечением. В работе [7] рассмотрен захват для нежных и хрупких деталей, представлена идея реконфигурируемого захватного устройства, обладающего способностью захватывать и манипулировать хрупкими и нежесткими предметами, а также предметами, имеющими неправильную геометрическую форму. Указанная способность обеспечивается благодаря конструкции пальцев захватного устройства, а также возможности изменения расстояния между ними.

В качестве схватных устройств захватов манипулятора в зависимости от вида переносимых предметов и деталей используются пальцы, присоски как вакуумные, так и безвакуумные, магниты, иголки.

Следует отметить, что большинство исследований направлено на изучение работы устройств типа «кисть», предназначенных для объектов имеющих объемную форму (цилиндр, шар, куб), в свою очередь плоские детали и особенно плоские гибкие детали, к которым можно отнести детали кроя обуви не могут быть перемещены при помощи таких устройств, таким образом возникает необходимость адаптации существующих технических устройств под свойства переносимых деталей.

**Задачей** исследования является разработка и оптимизация конфигурируемого захвата манипулятора, способного в автоматическом режиме конфигурироваться под уникальные детали кроя верха деталей обуви.

**Целью** исследования является исключение неоправданного многообразия возможных вариантов схватных элементов для плоских, но гибких деталей и установление определенных закономерностей и рекомендаций в их выборе.

**Методом исследования**, принятом в данной работе, является эмпирический, включая наблюдение, сравнение, измерение и эксперимент.

Средства исследования: присоски (набор присосок TEST-SETVTVERPACKUNGSMALZ), ручной динамометр Мегеон 03500, комплект материалов из натуральной кожи (крафт, велюр, лак), вакуумный генератор с насосом Ribake 2BHB 830 H26, стол.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Поставленная задача решена тем, что в условиях резидента Парка высоких технологий ООО «Лацит – Лаборатория цифровых технологий» разработано устройство захвата манипулятора, содержащее узел крепления к руке манипулятора, одну основную направляющую, соединенную с узлом крепления к руке манипулятора, одну подвижную направляющую, установленную на основной направляющей с возможностью перемещения вдоль нее, два элемента захвата, установленные на подвижной направляющей с возможностью перемещения вдоль нее, при этом устройство содержит контроллер, а также один привод подвижной направляющей и один привод элементов захвата, связанные с контроллером с возможностью получения информации о координатах, определяющих форму захватываемых объектов, и с подвижной направляющей и элементами захвата с возможностью их перемещения согласно полученным координатам.

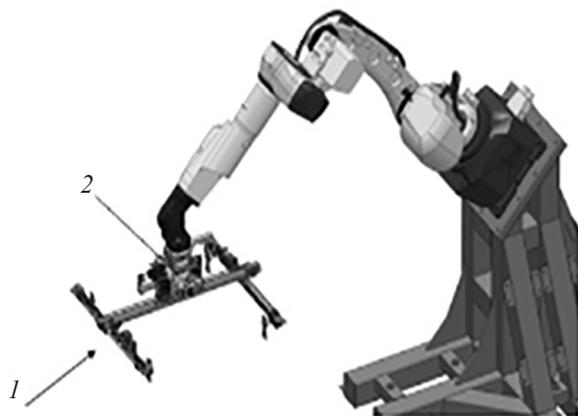
Информация о координатах, определяющих форму захватываемых объектов, то есть в какую сторону должны вращаться двигатели и куда следует перемещать подвижную направляющую и элементы захвата (для захвата объектов ранее определенной формы) поступает от внешнего источника управления на контроллер, а затем на приводы. Таким образом, перемещение подвижной направляющей осуществляется приводом подвижной направляющей, а перемещение элементов захвата – приводом элементов захвата. Перемещение осуществляется согласно полученным координатам, определяющим форму захватываемых объектов, то есть конфигурирование устройства захвата под уникальную форму каждого захватываемого объекта происходит в автоматическом режиме. Очевидным является то, что привод подвижной направляющей и привод элементов захвата выполнены с возможностью перемещения подвижной направляющей и каждого из элементов захвата независимо друг от друга. Устройство захвата манипулятора является независимым от статической силы трения, роль пуска и тормоза выполняют приводы, связанные с контроллером. Вышеописанное позволяет использовать устройство захвата манипулятора для захвата объектов произвольной формы в автоматическом режиме.

Элементы захвата выбраны из группы, содержащей вакуумную присоску, присоску Бернулли, игольчатый захват и магнитный захват. Различная конфигурация элементов захвата позволяет выбирать подходящую конструкцию для обеспечения надежного и точного захвата объектов различной формы. Привод подвижной направляющей и привод элементов захвата связаны с контроллером посредством проводов. Узел крепления к руке

манипулятора оснащен креплением для держателя проводов и колодок коммутации, что позволяет соединять внешние коммутационные устройства с исполнительными элементами – приводом подвижной направляющей и приводом элементов захвата. Кроме того, узел крепления к руке манипулятора оснащен клапанами управления элементами захвата.

Оснащение узла крепления к руке манипулятора коммутационными колодками и клапанами управления элементами захвата, введение индивидуальных приводов для каждой оси (привода подвижной направляющей и привода элементов захвата) позволяет создать устройство захвата небольшого размера и с незначительной массой по сравнению с применяемыми устройствами аналогичного назначения, а также со значительно большими возможностями, включая индивидуальную конфигурацию под каждый захватываемый объект уникальной формы в автоматическом режиме.

На рисунке 1 показан общий вид манипулятора, представляющего собой робот-манипулятор с устройством 1 захвата, которое закреплено на роботе-манипуляторе посредством узла 2 крепления к руке робота-манипулятора.



1 – конфигурируемый захват манипулятора;  
2 – узел крепления к руке робота манипулятора  
1 – manipulator gripping device;  
2 – manipulator arm attachment fitting

**Рисунок 1 – Робот-манипулятор с конфигурируемым захватом**  
**Figure 1 – Configurable gripper mounted on a robotic arm**

Устройство работает следующим образом.

Работа устройства 1 захвата манипулятора заключается в выполнении основных функций: определение координат захватываемых деталей, индивидуальная конфигурация под форму и размер захватываемых деталей уникальной формы, присоединение устройства 1 захвата к захватываемой детали, фиксация захватываемой детали к элементу захвата, извлечение

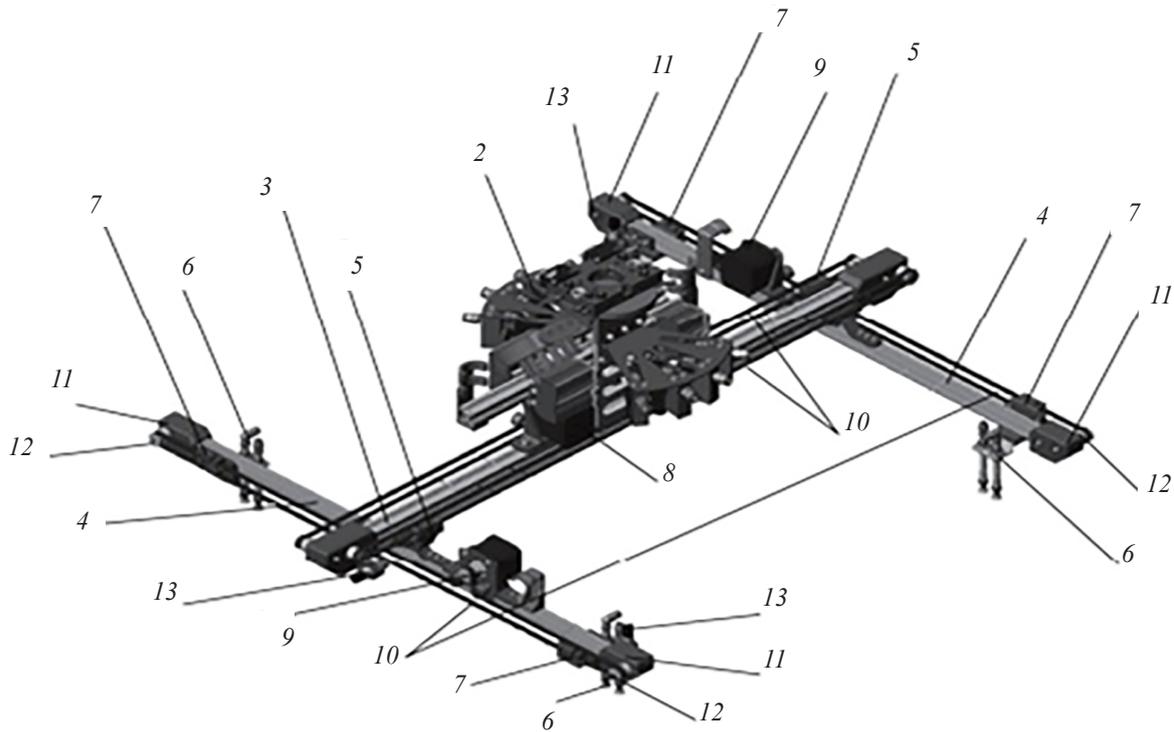
детали из листа кроя, перемещение и укладка деталей кроя на площадку комплектации.

На рисунке 2 представлен общий вид устройства 1 захвата манипулятора, содержащее узел 2 крепления к руке манипулятора, одну основную направляющую 3, соединенную с узлом 2 крепления к руке манипулятора, и две подвижные направляющие 4, каждая из которых снабжена кареткой 5, установленные на основной направляющей 3 с возможностью перемещения вдоль нее, четыре элемента 6 захвата, каждый из которых снабжен кареткой 7, установленные по два на каждой подвижной направляющей 4 с возможностью перемещения вдоль нее, контроллер (на рис. 2 не показан), а также привод 8 подвижных направляющих 4 и два привода 9 элементов 6 захвата. Каретки 5 подвижных направляющих 4 установлены на основной направляющей 3, а каретки 7 схватов – на подвижных направляющих. Каретки 5 и 7 установлены на соответствующей направляющей посредством пазов (на рис. 2 не показаны). Перемещение подвижной направляющей 4 и элементов 6 захвата, а, следовательно, кареток 5 и 7 осуществляется посредством приводов 8 и 9 через кинематическую передачу 10 (которая может представлять собой, например, ремень, цепь или винтовую передачу). Движение кинематической передачи 10 обеспечивается законцовками 11, на которых закреплены обводные ролики 12 (или, например, подшипник для винтовой передачи). Каждый привод 8 и 9, снабжен датчиками положения 13, которые фиксируются на направляющих 3 и 4 вне зависимости от их подвижности.

Таким образом, разработано устройство захвата манипулятора, независящее от статической силы трения, конструкция которого обеспечивает достижение технического результата, заключающегося в обеспечении конфигурирования устройства под каждый захватываемый объект уникальной формы в автоматическом режиме [8].

Для достижения наилучшего результата по процессу выемки крайне важным является выбор комплектующих для исполнительных захватов, которые непосредственно соприкасаются с извлекаемыми деталями. Такие исследования проводились для выбора комплектующих, способных извлекать гибкие детали верха обуви из раскроенного ковра, не обнаружено [9] [10]. Таким образом, возникает необходимость в подборе комплектующих, который выполнен на основании наблюдения, сравнения, измерения и эксперимента по определению оптимальных присосок (материал и форма) для осуществления операции извлечения.

Эмпирические исследования проводились в условиях научно-производственной лаборатории ООО «Лацит – Лаборатория цифровых технологий».



- 2 – узел крепления к руке робота-манипулятора; 3 – основная направляющая; 4 – подвижная направляющая;  
 5 – каретка подвижных направляющих; 6 – элемент захвата; 7 – каретка схватов;  
 8 – привод подвижных направляющих; 9 – привод элементов захвата; 10 – кинематическая передача; 11 – законцовки;  
 12 – обводные ролики; 13 – датчик положения
- 2 – manipulator arm attachment fitting; 3 – main guide rail; 4 – movable guide rail; 5 – carriages of movable guide rails;  
 6 – gripping elements; 7 – carriages of gripping elements; 8 – actuator of movable guide rails;  
 9 – actuator of gripping elements; 10 – power transmission; 11 – edge lines; 12 – idle pulleys; 13 – position sensors

**Рисунок 2 – Устройство захвата манипулятора**  
**Figure 2 – Manipulator gripping device**

Описание средств исследования. Присоски представляют собой вогнутую поверхность, внутренняя полость которой изолирована от внешней среды. Для исследования применялись две группы присосок от разных производителей, которые на данный момент являются доступными для приобретения.

Первая группа – присоски фирмы SCHMALZ (Германия), в которых буквенное обозначение – это модельный ряд, а численное обозначение – это диаметр: № 1 – SPF30; № 2 – SPB1 25, № 4 – SFF 20 каучук; № 5 – FGAO 18x14 (эллиптическая форма); № 7 – FG9; № 9 – SPF 17; № 10 – SPF23; № 11 – FGA14; № 12 – FGA22; № 13 – FG18; № 14 – FG20; № 15 – SGO-8x24 (эллиптическая форма); № 16 – SGO-10x30 (эллиптическая форма); № 17 – FG 18; № 18 – FG23; № 19 – SFF25 полиуретан; № 20 – SFF20 полиуретан; № 21 – FGA16; № 22 – FGA20; № 23 – SFB 25; № 24 – SFB 15; № 25 – SGP15.

Вторая группа – присоски фирмы VUOTOTECNICA (Италия), обозначенные производителем числовыми символами № 3 – 012515 с

диаметром 25 мм; № 6 – 012010 с диаметром 20 мм, № 8 – 011510 с диаметром 15 мм; № 25 – 11 с диаметром 50 мм; № 26 – 011010 с диаметром 10 мм.

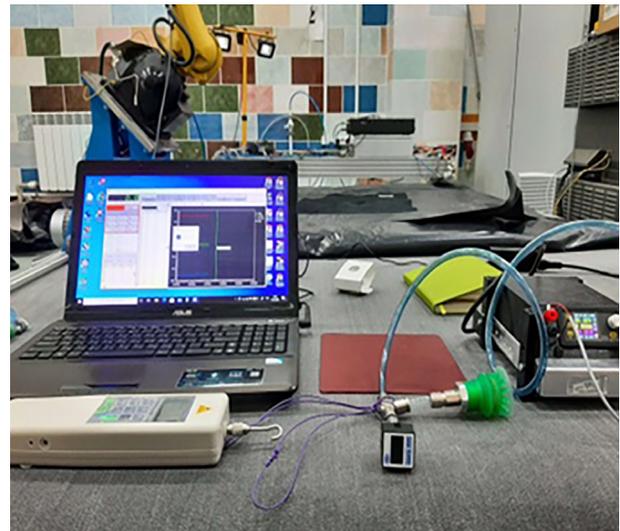
Разряжение в присосках в рамках данной работы создавалась вакуумным генератором, принцип работы которого состоит в подаче сжатого воздуха в коническое сопло. Сжатый воздух, проходящий через коническое сопло, достигает сверхзвуковой скорости, которая создаёт разряжение. Для определения силы прижатия присосок к образцам материала принят прибор портативный Мегеон 03500, представляющий собой высокоточный цифровой динамометр, оснащенный интерфейсом RS232C для сопряжения с компьютером. В качестве основания для деталей использовался стандартный вакуумный стол с вакуумным ковром, что обеспечивает воздухопрозрачность подложки деталей.

Описание образцов материала. Детали для исследований размером 190x190 мм были выбраны из группы материалов, применяемых для изготовления верха обуви: крафт, велюр и лаковая кожа. Крафт

представляет собой натуральную кожу, которая не имеет лицевой отделки и сохраняет характерный текстурный рисунок. Велкор – это кожа, имеющая поверхность с коротким, однотонным и гладким ворсом, так как в велюре наружная сторона кожи (мерея) используется как внутренняя, а изнаночная (бахторма) используется как лицевая. Лак – кожа, обработанная специальными смолами, придающими поверхности гладкий, блестящий эффект.

На рисунке 3 представлено изображение установки для реализации эксперимента.

Описание эксперимента: с целью получения наиболее достоверных результатов и визуального наблюдения за поведением присосок в момент отрыва исследованию подверглись все присоски, вошедшие в комплектную базу. Каждая присоска присоединялась к фиттингу, после чего вакуумный генератор, питаемый сжатым воздухом от компрессора, создавал разрежение в присоске. Присоски отсоединялись от материала с определенным усилием, которое фиксировалось при помощи динамометра, численный результат усилия выводился на экран. Эксперимент повторялся трижды для каждой присоски, после чего находилось среднее значение. Критерием оптимизации принято отношение силы отрыва  $F$ ,  $H_k$  диаметру  $D$ , мм, как относительный показате



**Рисунок 3 – Установка для реализации эксперимента**  
**Figure 3 – Experimental setup**

ль удержания раскроенной детали, который на основании опытно-статистических наблюдений принят выше 0,5 Н/мм. На рисунке 4 представлены виды присосок, которые подвергались испытаниям.



**Рисунок 4 – Виды присосок**  
**Figure 4 – Types of suction cups**

Результаты эксперимента приведены в таблице 1, относительное усилие отрыва рассчитывалось как среднее значение для всех полученных результатов эксперимента.

На рисунке 5 представлена гистограмма с отображением усилий отрыва каждого типа присосок от разного материала (крафт, велюр, лак), которая

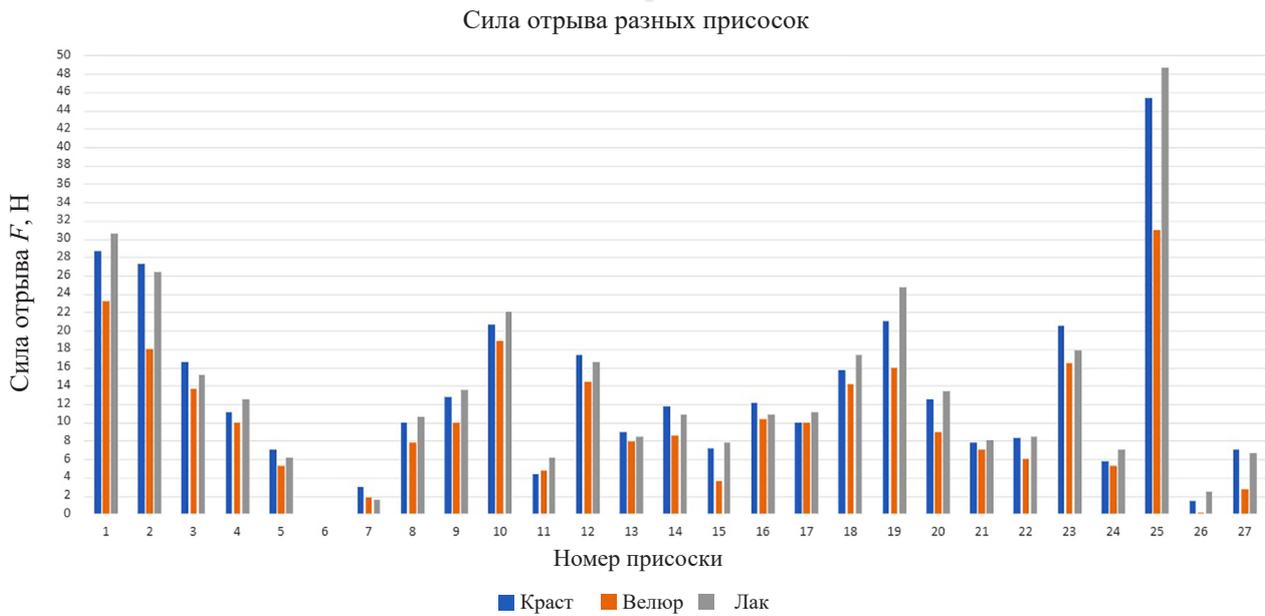
наглядно показывает общую закономерность исследуемого процесса и позволяет усреднить среди трёх видов материалов отношение силы отрыва присоски к ее диаметру.

На рисунке 6 представлен график относительного усилия отрыва для испытанных присосок.

**Таблица 1 – План и результаты эксперимента по определению силы отрыва присоски от разных материалов**

**Table 1 – Plan and results of the experiment to determine the force of separation of the suction cup from various materials**

№	Вид комплектующего элемента	Диаметр $D$ , мм	Сила отрыва $F$ , Н			Относительное усилие отрыва $Y$ , Н/мм
			Крафт	Велюр	Лак	
1	SPF30	30	28,7	23,2	30,6	0,92
2	SPB25	25	27,3	18	26,4	0,96
3	012515	25	16,6	13,6	15,2	0,61
4	SFF20 каучук	20	11,1	10	12,5	0,56
5	FGAO 18x14	18	7,1	5,2	6,2	0,34
6	012010	20	н/о	н/о	н/о	0,00
7	FG9	9	3	1,8	1,6	0,24
8	011510	15	10	7,8	10,6	0,63
9	SPF17	17	12,8	10	13,5	0,71
10	SPF23	23	20,6	18,9	22	0,89
11	FGA14	14	4,4	4,8	6,2	0,37
12	FGA22	22	17,4	14,4	16,6	0,73
13	FG18	18	9	7,9	8,4	0,47
14	FG20	20	11,8	8,6	10,9	0,52
15	SGO-8x24	24	7,2	3,6	7,8	0,26
16	SGO-10x30	30	12,1	10,4	10,9	0,37
17	FG19	19	10	10	11,1	0,58
18	FG23	23	15,7	14,2	17,4	0,69
19	SFF25 полиуретан	25	21	16	24,7	0,82
20	SFF20 полиуретан	20	12,5	9	13,4	0,58
21	FGA16	16	7,8	7,1	8,1	0,48
22	FGA20	20	8,3	6	8,4	0,38
23	SFB25	25	20,5	16,4	17,8	0,73
24	SFB15	15	5,8	5,3	7	0,40
25	11	50	45,3	31	48,6	0,83
26	011010	10	1,5	0,1	2,4	0,13
27	SGP15	15	7,1	2,7	6,7	0,37



**Рисунок 5 – Гистограмма с отображением усилий отрыва каждого типа присосок от разного материала**  
**Figure 5 – Histogram displaying the tear-off forces of each type of suction cups from various materials**



**Рисунок 6 – Относительное усилие отрыва для испытанных присосок**  
**Figure 6 – Relative pull-off force for the tested suction cups**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основании сложившейся практики ширина мелких деталей для заготовок верха находится в пределах  $20 \pm 1$  мм (например, ремешок, длина в данном случае не важна, так как конфигурируемый захват, разработанный в рамках поставленной технической задачи, способен конфигурироваться в линию с размахом 600 мм). Таким образом в результате эксперимента установлен оптимальный размер присосок, соответствующий минимальной

ширине детали края верха обуви  $20 \pm 1$  мм и соответствующему критерию оптимизации (относительное усилие отрыва должно быть более 0,5 Н/мм). Следует отметить, что варианты № 13 – FG18; № 14 – FG20; № 17 – FG19, которые подходят под выбранные критерии, являются сильфонными и проявляют негативную особенность в работе: при создании усилия на отрыв присоски растягиваются, при контакте – сжимаются, тем самым ведут себя непредсказуемо, после отрыва зачастую схлопны-

ваются, таким образом, перечисленные варианты № 13 – FG18; № 14 – FG20; № 17 – FG19 не могут быть рекомендованы к использованию. Критериям

выбора и положительным поведением при работе соответствуют следующие варианты: № 4 – SFF20 каучук; № 9 – SPF17; № 20 – SFF20 полиуретан.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чукасова-Ильющкина, Е. В. Концепция индустрии 4.0 в условиях промышленного предприятия / Е. В. Чукасова-Ильющкина // Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023) = International conference on textile and apparel innovation (ICTAI–2023) : материалы докладов Международной научно-технической конференции, Витебск, 9–10 ноября 2023 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2024. – С. 142–147.
2. Захватное устройство : патент RU2673118C1 Российская федерация МПК B25J 15/08 / В. И. Карамнов, Д. А. Баловнев, Г. Г. Знайко. – Заявка на изобретение № 2018122427; заявл. 20.06.2018; опубл. 22.11.2018; заявитель Публичное акционерное общество «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука».
3. Вакуумный захватный агрегатный модуль : патент на полезную модель № 200757 U1 Российская Федерация, МПК B25J 15/06 / С. Н. Сысоев, Ю. В. Черкасов, А. В. Сажин, Т. С. Мишина. – Заявка № 2020116933 : заявл. 07.05.2020 : опубл. 11.11.2020; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
4. Flexible gripping device for a part stacking system, part stacking system and positioning method for positioning gripping elements for a part stacking system : 14382505.7 : European patent application № 3031586 Int Cl.B25J 15/00 / Alonso Ramila, Carlos Navero, Rueda Daniel; date of filing: 11.12.2014; date of publication: 15.06.2016 Bulletin 2016/24; applicant: Fagor, S. Coop. 20500 Mondragon (Gipuzkoa) (ES).
5. Бажинова, К. В. Автоматический захват объектов манипулятором, оснащенный многопалой кистью / К. В. Бажинова, А. Г. Лесков, Е. В. Селиверстова // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2019. – № 2. – С. 166–176. – DOI 10.1134/S0002338819020033.
6. Усенбеков, Ж. Моделирование схвата робота-манипулятора с гибкими тяговыми элементами / Ж. Усенбеков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 6 (384). – С. 213–217. [https://tftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384\\_41.pdf](https://tftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_41.pdf).
7. Щелкунов, Е. Б. Мягкое захватное устройство с возможностью реконфигурирования / Е. Б. Щелкунов, В. А. Карпенко, А. А. Орлов // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 12. – С. 22–25. <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2023-12-22-25>.
8. A gripping device of a manipulator : european patent application № WO 2022064260 Int Cl.B25J 15/00: 20788892/ Danilau Yauheni, Dzikunets Leanid; date of filing: 28.09.2020 ; date of publication: 31.03.2022; applicant: ICOL GROUP LTD [CY]/[CY].
9. Борисов, М. А. Разработка вакуумного захвата для сборочно-сортировочного робота / М. А. Борисов, С. Е. Лимонов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2024. – Т. 11. – № 1–2. – С. 74–83. [file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building\\_1-2\\_\\_1715332696-1.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building_1-2__1715332696-1.pdf).
10. Шигаев, Н. Н. Вакуумный захват для извлечения отливок из пресс-формы / Н. Н. Шигаев, Е. Е. Сопова // Modern Science. – 2020. – № 5.3. – С. 597–604. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42912047>.

### REFERENCES

1. Chukasova-Ilyushkina EV. The concept of industry 4.0 in an industrial enterprise. In: Innovatsii v tekstile, odezhde, obuvi (ICTAI–2023) = International conference on textile and apparel innovation (ICTAI–2023) : materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 9-10 November 2023, Vitebsk. Vitebsk: УО «ВГТУ»; 2024:142-147. (In Russ.)
2. Karamnov VI, Balovnev DA, Znayko GG. Zakhvatnoe ustroystvo = Gripping device. Patent RU2673118C1 Russian Federation IPC B25J 15/08. Application for Invention No. 2018122427; application dated 06.20.2018; published on 11.22.2018; applicant Public Joint Stock Company I.S. Bruk Institute of Electronic Control Machines. (In Russ.)
3. Sysoev SN, Cherkasov YuV, Sazhin AV, Mishina TS. Vakuumnyy zakhvatnyy agregatnyy modul' = Vacuum gripping aggregate module. Utility model Patent No. 200757 U1 Russian Federation, IPC B25J 15/06. Application No. 2020116933. Application. 05.07.2020 : published 11.11.2020; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Education «Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and

Nikolai Grigoryevich Stoletov». (In Russ.)

4. Alonso Ramila, Carlos Navero, Rueda Daniel. Flexible gripping device for a part stacking system, part stacking system and positioning method for positioning gripping elements for a part stacking system : 14382505.7. European patent application № 3031586 Int Cl.B25J 15/00; date of filing: 11.12.2014; date of publication: 15.06.2016 Bulletin 2016/24; applicant: Fagor, S. Coop. 20500 Mondragon (Gipuzkoa) (ES).

5. Bazhinova KV Leskov AG, Seliverstova EV. Automatic capture of objects with a manipulator equipped with a multi-fingered brush. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems.* 2019;2:166-176. – DOI 10.1134/S0002338819020033. (In Russ.)

6. Usenbekov J et al. Modeling the grip of a robotic manipulator with flexible traction elements. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* 2019;6(384):213-217. [https://ftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384\\_41.pdf](https://ftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_41.pdf) (In Russ.)

7. Shchelkunov EB, Karpenko VA, Orlov AA. A soft gripping device with the possibility of reconfiguration. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika = Mechatronics, automation and robotics.* 2023;12:22-25. <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2023-12-22-25>. (In Russ.)

8. Danilau Yauheni, Dzikonets Leanid. A gripping device of a manipulator : European patent application No. WO 2022064260 Int Cl.B25J 15/00: 20788892/; date of filing: 09.28.2020 ; date of publication: 03.31.2022; applicant: ICOL GROUP LTD [CY]/[CY].

9. Borisov MA, Limonov SE. Development of a vacuum gripper for an assembly and sorting robot. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii.* 2024;11(1-2):4-83. [file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building\\_1-2\\_1715332696-1.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building_1-2_1715332696-1.pdf). (In Russ.)

10. Shigaev NN, Sopova EE. Vacuum gripper for extracting castings from a mold. *Modern Science.* 2020; 5-3:597-604. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42912047>. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

#### Information about the authors

##### Чукасова-Ильюшкина Екатерина Васильевна

Кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры «Экономика и электронный бизнес» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: chukasovaev635@gmail.com*

ORCID: 0009-0009-2431-0752

##### Ekaterina V. Chukasova-Ilyushkina

Cand. Sc. (in Eng.), Associate Professor at the Department of Economics and Electronic Business, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: chukasovaev635@gmail.com*

ORCID: 0009-0009-2431-0752

##### Данилов Евгений Сергеевич

Ведущий конструктор общества с ограниченной ответственностью «Лацит-Лаборатория цифровых технологий» г. Минск, Республика Беларусь

*E-mail: e.danilov@icol.com*

ORCID: -

##### Evgeniy S. Danilov

Leading designer of Lacit-Laboratory of Digital Technologies Company, Minsk, Republic of Belarus

*E-mail: e.danilov@icol.com*

ORCID: -

Статья поступила в редакцию 28.11.2024.