



УДК 004.02; 681.2; 681.7.04; 621.865.8; 62-229.76

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГИБКОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В.М. Медунецкий^а, Б.С. Падун^а, В.В. Николаев^б

^а Университет ИТМО, Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация

^б ЗАО «Системы управления и приборы», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

Адрес для переписки: mak5@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 22.09.17, принята к печати 30.10.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1123-1132

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Медунецкий В.М., Падун Б.С., Николаев В.В. Особенности проектирования хватных устройств для повышения гибкости автоматизированных и роботизированных технологических линий приборостроительных производств // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 6. С. 1123–1132. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1123-1132

Аннотация

Исследованы задачи повышения технологической гибкости автоматизированных линий на примере автоматизации сборки линзовых микрообъективов. Рассмотрены особенности построения автоматизированной линии сборки микрообъективов и характеристики конструкции базового микрообъектива. Проанализированы и систематизированы габаритно-весовые параметры основных узлов базового микрообъектива. Отмечено, что существенное влияние на номенклатуру выпускаемой продукции автоматизированной линии и на ее технологическую гибкость оказывает конструкция универсальных хватов манипуляторов, взаимодействующих в процессе автоматизированной сборки с деталями и узлами микрообъективов. Рассмотрены конструкции известных промышленных хватов, выполнен анализ возможности их применения для автоматизированной линии сборки микрообъективов. В результате анализа предложены две альтернативные схемы построения универсального хвата. С целью сравнения двух предложенных вариантов использована разработанная и апробированная методика качественно-количественной оценки технических решений. Данная методика предназначена для специалистов-разработчиков механических систем, осуществляющих обоснованный выбор технических решений из ряда альтернативных, и направлена на повышение уровня качества проектируемых технических изделий, закладываемых на этапах проектирования. По предложенной методике произведена качественно-количественная оценка двух предложенных вариантов хватов, на основании анализа которой предложен третий вариант построения универсального хвата. Предложена конкретная конструкция универсального хвата для автоматизированной линии сборки микрообъективов.

Ключевые слова

автоматизированная сборка микрообъектива, повышение технологической гибкости, универсальный хват, сравнение технических решений

SPECIAL DESIGN ASPECTS OF GRIPPING DEVICES FOR INCREASING THE FLEXIBILITY OF AUTOMATED AND ROBOTIC MANUFACTURING LINES AT INSTRUMENT MANUFACTURING FACILITIES

V.M. Medunetskiy^a, B.S. Padun^a, V.V. Nikolaev^b

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

^b "Control Systems and Instruments", JSC, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation

Corresponding author: mak5@inbox.ru

Article info

Received 22.09.17, accepted 30.10.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1123-1132

Article in Russian

For citation: Medunetskiy V.M., Padun B.S., Nikolaev V.V. Special design aspects of gripping devices for increasing the flexibility of automated and robotic manufacturing lines at instrument manufacturing facilities. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 6, pp. 1123–1132 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1123-1132

Abstract

The paper deals with the tasks of increasing manufacturing flexibility of automated production lines on the example of microlens assembly automation. Consideration was given to peculiarities of building an automated microlens assembly line and to specifications of the basic microlens design. Weight and dimensional parameters of the basic microlens main units were analyzed and systematized. It was noted that the range of items produced by the automated line and its manufacturing flexibility are substantially influenced by the design of universal arm grippers interoperating with microlens parts and assemblies in the process of automated assembly that gives the possibility to cover an entire range of microlenses. Designs of known industrial grippers were reviewed and an analysis was provided as to the possibility of their application for the automated microlens assembly line. The analysis resulted in two alternative schemes proposed for building a universal gripper. A developed and proved out methodology of qualitative-quantitative assessment of technical solutions was used. This methodology is intended for mechanical system developers, who make a justified choice of technical solutions from a variety of alternatives, and is aimed to raise the quality level of technical products being designed that are introduced at the design stages. Following the presented methodology, the qualitative-quantitative assessment of two proposed gripper variants was carried out, and the third universal gripper construction variant was put forward based on its analysis. Specific universal gripper design for an automated microlens assembly line was proposed.

Keywords

automated microlens assembly, manufacturing flexibility increase, universal gripper, technical solutions comparison

Введение

Автоматизация все глубже интегрируется с информационными технологиями и системой управления производством, что позволяет развивать инструменты и способы управления предприятием и повышать эффективность производства [1, 2]. Сокращение потерь времени на переналадку технологических линий за счет внедрения методов унификации и типизации гибких робототехнических систем позволяет осуществлять переход от выпуска одного вида продукции на выпуск другого практически путем изменения только управляющих программ [3]. Унификация технологических решений и роботизация обеспечивают ряд важнейших конкурентных преимуществ: повышение производительности в серийном, мелкосерийном и индивидуальном производстве, повышение качества продукции, повышение гибкости производства, снижение эксплуатационных расходов, улучшение условий труда персонала [4–13]. Кроме этого, унификация и роботизация являются необходимыми условиями создания производственных киберфизических систем на предприятиях, поэтому следует подробно рассмотреть проблему применения роботов, в частности, при автоматизации сборки микрообъективов (МО).

Анализ конструкций и технологий сборки микрообъективов

Созданию линзовых МО дифракционного качества посвящено достаточно много работ и публикаций [10–13]. В результате проведенных исследований и разработок [14, 15] предложена конструкция базового линзового МО. Для обеспечения дифракционного качества объектива при его сборке необходимо обеспечить угловое позиционирование компонентов объектива согласно данным, полученных в рамках системы виртуальной сборки [16]. Общие характеристики деталей и узлов базового МО приведены в табл. 1.

Тип элемента	Поверхность для захвата, мм	Масса, г	Особенности элемента, которые необходимо учитывать при проектировании захвата
Линза	Наружный диаметр 5–15	0,2–2	Установка в оправу
Оправа	Внутренний диаметр 12–16	1–10	
Оправа с линзой	Внутренний диаметр 12–16	1–12	
Кольца	Наружный диаметр 14–30 Внутренний диаметр 12–16	2–20	
Пружина	Наружный диаметр 14–16 Длина ≤ 30	0,2–1	Отсутствие базовой поверхности, эластичность
Прокладные кольца	Наружный диаметр 14–16 Толщина 0,2–1 мм	0,01–0,2	Эластичность
Гайка, бленда	Наружный диаметр 14–30 Внутренний диаметр 12–20	1–10	Резьба, крутящий момент
Внутренний стакан, корпус	Наружный диаметр 18–25 Внутренний диаметр 14–20	10–50	Резьба, крутящий момент
Микрообъектив	Наружный диаметр 25–30 Длина ≤ 50	20–60	Насыпная сборка

Таблица 1. Общие характеристики деталей и узлов базового микрообъектива

Особенность элементов МО состоит в том, что они являются телами вращения, которые имеют свободный доступ для захвата по наружному или внутреннему диаметрам. Кроме этого, из табл. 1 видно, что имеется положительная зависимость между диаметром элемента и его массой, т.е. с увеличением диаметра увеличивается масса компонента МО.

Отличительной особенностью приборостроительных производств, наряду с высокой сложностью выпускаемых изделий, является большое количество контрольных и регулировочных операций, относительная компактность деталей и узлов, широкая номенклатура элементов, требующих сборочных операций. Во многом малые размеры деталей и узлов приборостроительной продукции значительно упрощают применение унифицированных манипуляторов-роботов.

Специфика сборки МО заключается в необходимости обращения с широкой номенклатурой схожих деталей и сборочных единиц, отличающихся массогабаритными характеристиками. Важно отметить, что детали и узлы МО не допускают приложение чрезмерных усилий захвата и удержания для исключения влияния на качество получаемой продукции, но требуют надежной и жесткой фиксации. Учитывая достаточно высокие динамические ускорения при обращении, а также широкий диапазон деталей и узлов с различной массой, обеспечение оптимального усилия захвата при обращении с деталями и узлами становится важной технической задачей.

Схема технологического процесса автоматической сборки МО показана на рис. 1 (обозначения: с.е. – сборочная единица, САПР АЛС – система автоматизированного проектирования автоматизированной линии сборки), на котором показана привязка сборочных операций к рабочим станциям, где выполняются эти операции.

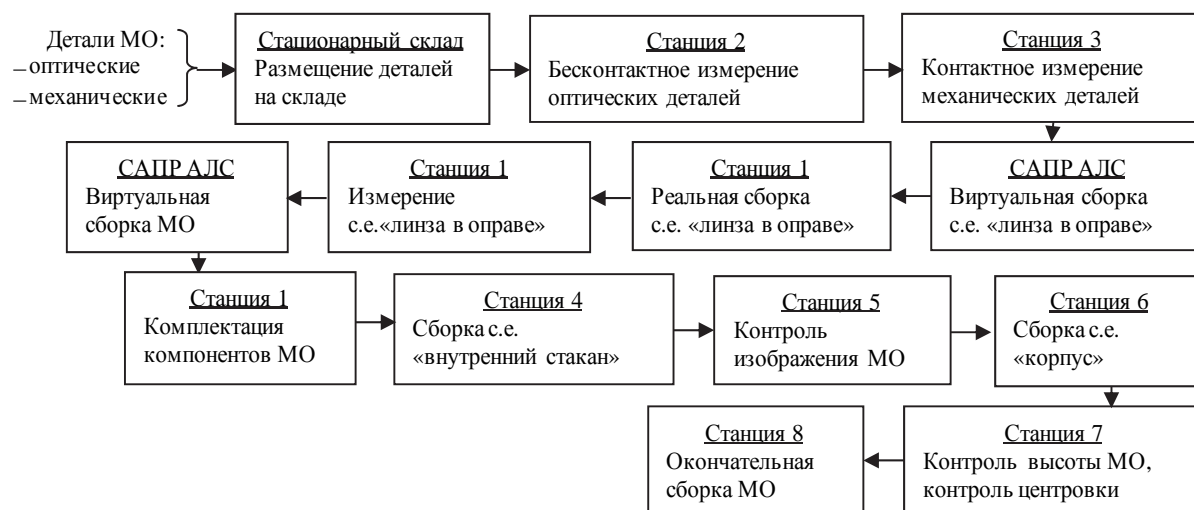


Рис. 1. Рабочие станции и их назначение в технологической линии

Автоматизация и роботизация приборостроительных производств на примере создания автоматизированной линии сборки микрообъективов

Базовая концепция автоматизированной технологической линии сборки МО рассмотрена в работах [17–19]. Основные функциональные части автоматизированной линии сборки МО показаны на рис. 2. Станции объединяют транспортные линии, а обмен изделиями производится через стационарный склад.

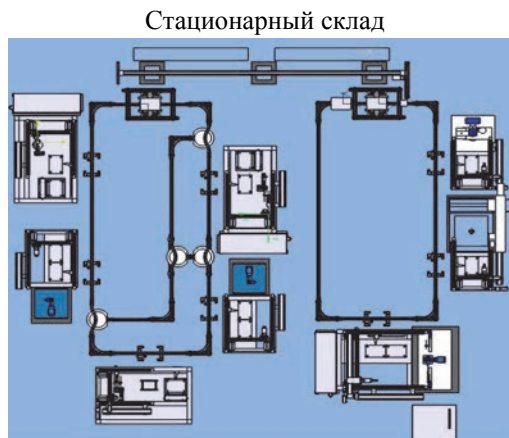


Рис. 2. Вариант организации технологической линии

Конструкция универсальных захватов манипуляторов как часть технологического оснащения производства, которая непосредственно взаимодействует (контактирует) с деталями и узлами выпускаемых изделий, оказывает существенное влияние на номенклатуру выпускаемой продукции и, соответственно, на гибкость технологической линии (способность к переходу к другому виду продукции без переналадки технологического оборудования).

Каждая из рабочих станций оснащается промышленными роботами, задача которых – обеспечить весь спектр необходимых транспортных и технологических операций с линзами, деталями, узлами и подбороками микрообъективов.

Конструкции универсального захватного устройства для манипуляторов автоматизированных линий сборки

В современных промышленных захватах в основном применяются два вида движения захватных элементов (лапок) – вращательное (угловое раскрытие) [20–23] или плоскопараллельное (параллельное раскрытие) [24–26]. В качестве привода, как правило, используются пневматические поршневые системы, интегрированные в конструкцию захвата. На рис. 3 представлена схема построения захвата с рычажным механизмом преобразования поступательного движения поршня захвата во вращательное движение лапок.

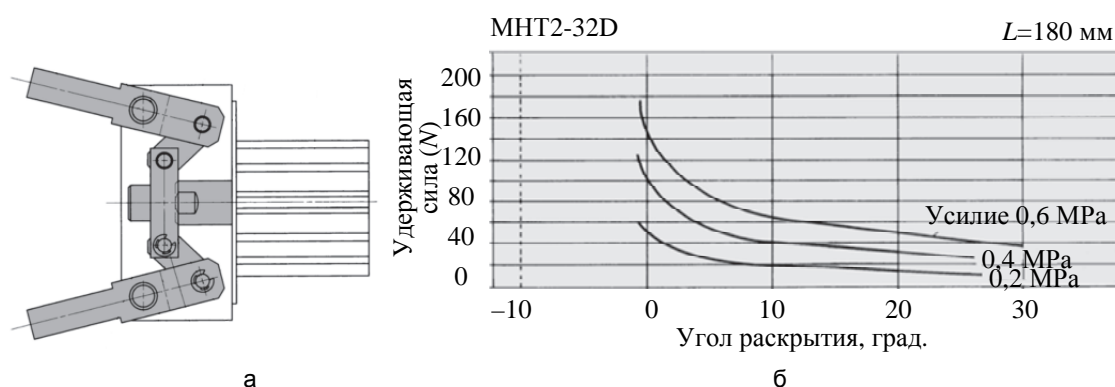


Рис. 3. Схема построения захвата с рычажным механизмом (а) и характер изменения развиваемого усилия от давления и хода лапок захвата (воспроизводится из [22]) (б)

Из приведенной зависимости (рис. 3, б) видно, что с увеличением угла раскрытия лапок усилие захвата уменьшается, поэтому применение такого вида механизма для захвата манипулятора технологической линии сборки микрообъективов не является рациональным. Другая возможная реализация – кулисный механизм (рис. 4).

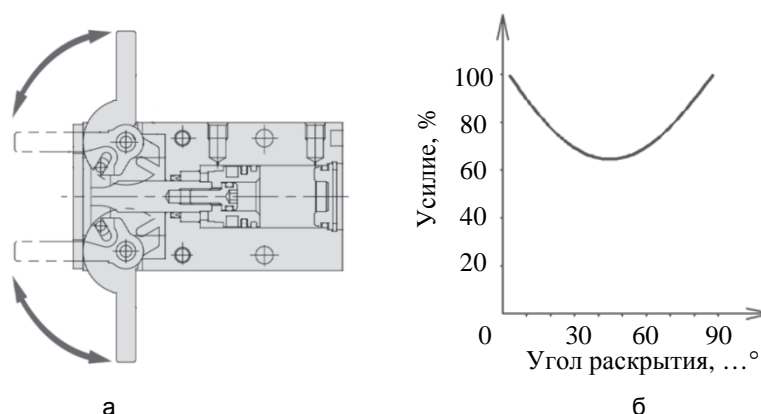


Рис. 4. Схема построения захвата с кулисным механизмом (воспроизводится из [21]) (а); характер зависимости развиваемого усилия от хода лапок захвата с кулисным механизмом (б)

Еще одним возможным вариантом механизма захвата является реечный механизм (рис. 5). При такой схеме реализации механизма зависимость усилия захвата не зависит от угла раскрытия и определяется управляющим давлением.

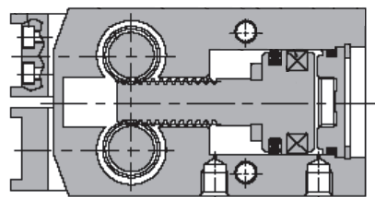


Рис. 5. Схема построения захвата с реечным механизмом (воспроизводится из [23])

Из известных промышленных захватов можно выделить два основных способа преобразования осевого движения поршня пневмоцилиндра в поступательное движение лапок захвата: через рычажный механизм (рис. 6, а), через клиновидный ползун (рис. 6, б). Отличительной особенностью данных механизмов является фиксированное передаточное отношение между движением поршня и движением лапок, определяемое соотношением плеч рычага или углом наклона клиновидного ползуна, т.е. усилие захвата не зависит от величины раскрытия лапок и полностью определяется рабочим давлением в полостях пневмоцилиндра.

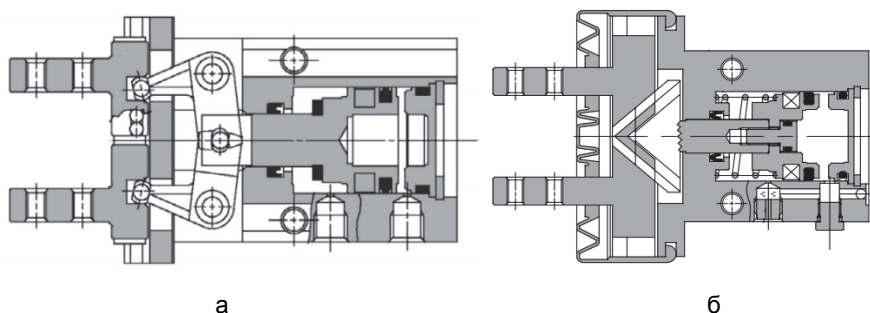


Рис. 6. Схемы построения захвата: с рычажным механизмом (а); с клиновидными ползунами (б)

Таким образом, можно утверждать, что для использования в универсальном захватном устройстве манипулятора автоматизированной линии сборки микрообъективов они не являются рациональными. С целью получения увеличения усилия захвата в зависимости от величины раскрытия лапок необходимо использовать иной механизм преобразования.

На основании проведенного анализа известных конструкций и требований, предъявляемых к захватному устройству манипулятора автоматизированной технологической линии, можно предложить два варианта реализации захвата (рис. 7, а, б).

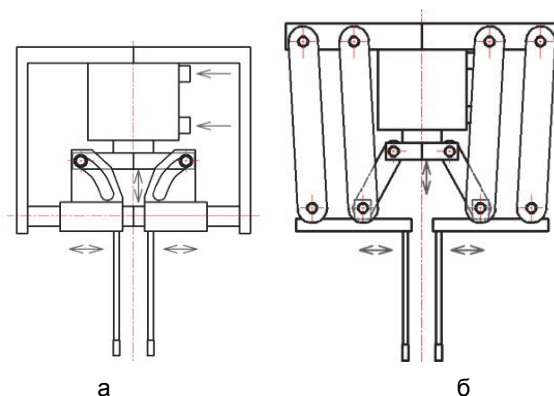
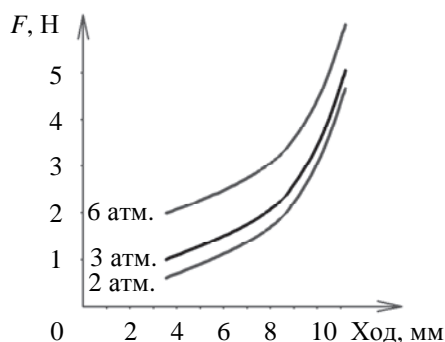


Рис. 7. Варианты захвата: 1 (а); 2 (б)

Вариант 1 содержит три штыревые лапки, жестко закрепленные на трех скользящих каретках, приводимых и синхронизируемых вилкой, жестко закрепленной на штоке двухходового пневмоцилиндра. Осевое движение вилки преобразуется в горизонтальное движение кареток посредством криволинейного паза, форма которого выбирается исходя из требуемого изменения усилия захвата в зависимости от геометрического размера детали (рис. 8). Вариант 2 отличается способом создания плоскопараллельного движения штыревых лапок, а также способом синхронизации и обеспечения нелинейной зависимости усилия от давления в пневмоцилиндре.

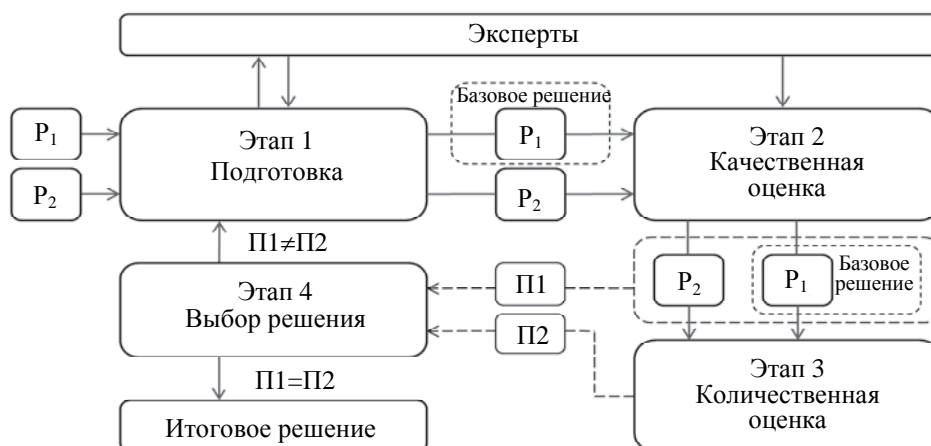
Рис. 8. Зависимость усилия схватывания F от хода лапки при разных давлениях

Методика выбора и сравнения технических решений применительно к созданию механических компонентов автоматизированных технологических линий

Для сравнения двух предложенных вариантов авторами использована разработанная и апробированная методика качественно-количественной оценки технических решений [27]. Данная методика предназначена для специалистов-разработчиков механических систем, осуществляющих обоснованный выбор технических решений из ряда альтернативных. Методика направлена на повышение уровня качества проектируемых технических изделий, закладываемых на этапах проектирования.

В основе методики использован метод экспертных оценок [28–30] в модифицированном варианте. Оценка критериев производится по целочисленной порядковой шкале от 1 до 9. При этом среднее значение «5» принимается нейтральным и является точкой отсчета при оценке. Значения меньше «5» характеризуют негативную (отрицательную) оценку, убывающую постепенно до «1», значения больше «5» характеризуют позитивную (положительную) оценку, которая возрастает до 9. Среднее значение «5» эксперт выставляет в случаях затруднений в оценивании, ввиду отсутствия определенных знаний и компетенций. Характерной особенностью данной методики является то, что вначале определяются определяющий показатель качества (ОПК) изделия и значимые показатели качества (ЗПК). За ОПК принимается показатель, характеризующий функциональные свойства изделия и обуславливающий диапазон его применимости (показатель назначения), а к ЗПК следует отнести, например, технические, технологические, экономические и другие показатели, влияющие на ОПК. Обобщенная функциональная схема предлагаемой методики показана на рис. 9.

Методика включает в себя четыре последовательно выполняемых этапа. На подготовительном (первом) этапе разработчиком механического изделия определяются исходные данные задачи выбора, в том числе варианты технических решений, базовое техническое решение, экспертная группа, исходный регламент экспертизы, набор критериев их весовых коэффициентов. Исходные данные для экспертизы технических решений первоначально передаются экспертам для их корректировки и дополнения. На втором этапе группа экспертов-практиков производит качественную оценку сравниваемых решений по балльной системе.

Рис. 9. Функциональная блок-схема методики оценки технических решений на этапе проектирования (P_1, P_2 – рассматриваемые технические решения; P_1 – базовое решение; $П_1, П_2$ – предпочтительные решения)

В результате анализа оценок экспертов определяется предпочтительное техническое решение второго этапа – П1. Третий этап включает в себя относительно-количественную оценку и сравнение технических решений на основе анализа конструктивно-технологических параметров, влияющих на ОПК/БПК, и это влияние определяется в относительных единицах. В результате анализа определяется предпочтительное техническое решение третьего этапа – П2. На четвертом этапе производится анализ и сравнение полученных результатов на предыдущих этапах. При условии совпадения результатов, полученных на втором и третьем этапах (П1=П2), обоснованно выбирается окончательное техническое решение для реализации на практике. В случаях, когда П1≠П2, полученные результаты могут использоваться в качестве исходных данных для поиска нового технического решения, например, с использованием теории решения изобретательских задач [31–33].

Оценка и сравнение вариантов построения захватных устройств. Согласно предложенной методике, вариант 1 захватного устройства был взят в качестве базового технического решения (P₁), относительного которого производилась оценка варианта 2 (P₂). Поскольку сравниваемые варианты имеют схожие зависимости усилия от хода лапок, а также ряд одинаковых узлов, в качестве определяющего показателя качества был выбран ресурс работы захвата. В качестве значимых показателей качества были приняты стоимость изготовления, безотказность, кинематическая точность.

Захват	ОПК Ресурс				ЗПК1 Стоимость изготовления				ЗПК2 Безотказность				ЗПК3 Кинематическая точность				Σ балл
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э1	Э2	Э3	Э4	Э1	Э2	Э3	Э4	Э1	Э2	Э3	Э4	
Вариант 1	4	5	6	5	6	7	5	5	4	3	3	5	5	6	7	3	77
Вариант 2	7	6	8	7	5	6	4	5	8	7	7	7	4	4	5	5	

Таблица 2. Результаты качественной оценки захватных устройств экспертами (Э)

По результатам качественной оценки экспертами (табл. 2) определено, что предпочтительное техническое решение П1 – вариант 2.

Для количественного сравнения технических решений были определены конструктивно-технологические параметры (КТП), оказывающие влияние на ОПК/БПК. По результатам количественной оценки (табл. 3) выявлено, что предпочтительным техническим решением П2 является вариант 1.

Захват	КТП1 Число деталей	КТП2 Число подвижных соединений	КТП3 Число точных поверхностей	КТП4 Число пар трения
Вариант 1	18	6	27	6
Вариант 2	26	15	36	18

Таблица 3. Количественная оценка захватных устройств

С учетом полученных качественных и количественных оценок получены различные предпочтительные решения (П1≠П2) на разных этапах оценки. В соответствии с предложенной методикой, на основе анализа оценок предложенных технических решений предложен вариант 3 (рис. 10) захвата, в котором устранены недостатки вариантов 1 и 2.

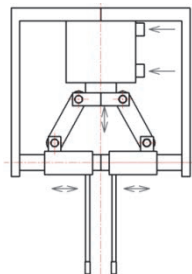


Рис. 10. Конструктивная схема варианта 3 захвата

В соответствии с выбранной схемой конструктивного построения разработана конструкция универсального захвата для манипуляторов роботов автоматической технологической линии сборки микрообъективов (рис. 11). В конструкции универсального захвата использован стандартный двухходовой пневмоцилиндр низкого трения и линейные подшипники на каретках, на которые крепятся лапки. Остальные конструкционные части захвата выполняются по технологии 3D-печати из фотополимера, например, в сверхвысоком разрешении – 750×750×1600 dpi (xyz), с толщиной слоя печати 16 мкм, что позволяет обеспечить требуемую точность построения и снизить стоимость изготовления захвата.



Рис. 11. Конструкция универсального захвата

Заключение

Для обеспечения технологической гибкости автоматизированной линии сборки линзовых микрообъективов на основе анализа элементов базового микрообъектива произведены оценка и сравнение нескольких возможных вариантов универсального захвата манипулятора промышленного робота. Определена оптимальная конструктивная схема захвата манипулятора, предложена его конкретная конструкция, позволяющая более широко охватить в процессе сборки номенклатуру деталей и узлов микрообъективов, а также повысить надежность и работоспособность технологической линии.

Литература

1. Кутергин В.А. Мировые тренды в развитии интеллектуальных или «умных» производств и предприятий. URL: www.umpro.ru/index.php?art_id_1=545&group_id_4=26&page_id=17 (дата обращения: 10.04.2017).
2. Industrial Development Report 2016. The Role of Technology and Innovation in Inclusive and Sustainable Industrial Development. Vienna, 2016. 286 p.
3. Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н., Падун Б.С. Технологическая подготовка гибких производственных систем. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.
4. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Л.: Машиностроение, 1983.
5. Tommila T., Hirvonen J., Jaakkola L., Peltoniemi J., Peltola J., Sierla S., Koskinen K. Next generation of industrial automation: Concepts and architecture of a component-based control system. VTT Tiedotteita. Research Notes 2303. 104 p.
6. Бондарева Н.Н. Состояние и перспективы развития роботизации: в мире и России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7. № 3. С. 49–57. doi: 10.18184/2079-4665.2016.7.3.49.57
7. Ross L.T., Fardo S.W., Masterson J., Towers R. Robotics: Theory and Industrial Applications. 2nd ed. Goodheart-Willcox, 2011. 317 p.
8. Robo Global Defining the Universe of Robotics & Automation for Investors. URL: http://roboglobal.com/system/pdf_attachments/documents/000/000/299/original/Robo_Global_Presentation_JAN_2017.pdf (дата обращения: 27.05.2017).
9. Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots. 2016. P. 11–18. URL: ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf (дата обращения: 10.06.2017).
10. Буй Динь Бао, Латыев С.М., Белоиван П.А., Табачков А.Г. Анализ проблем базирования линз в оправках // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 12. С. 18–22.
11. Латыев С.М., Буй Динь Бао, Белоиван П.А., Табачков А.Г. Анализ некоторых проблем сборки светосильных объектов // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 12. С. 23–28.
12. Латыев С.М., Белоиван П.А. Влияние зазоров в сопряжениях компонентов на центровку линзовых объективов // Оптический журнал. 2016. Т. 83. № 12. С. 36–40.

References

1. Kutergin V.A. World trends in the development of intellectual or "smart" industries and enterprises. URL: www.umpro.ru/index.php?art_id_1=545&group_id_4=26&page_id=17 (accessed: 10.04.2017).
2. Industrial Development Report 2016. The Role of Technology and Innovation in Inclusive and Sustainable Industrial Development. Vienna, 2016, 286 p.
3. Mitrofanov S.P., Kulikov D.D., Milyaev O.N., Padun B.S. Technological Background of Flexible Production Systems. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987, 352 p. (In Russian)
4. Mitrofanov S.P. Group Technology of Machine-Making. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1983. (In Russian)
5. Tommila T., Hirvonen J., Jaakkola L., Peltoniemi J., Peltola J., Sierla S., Koskinen K. Next generation of industrial automation: Concepts and architecture of a component-based control system. VTT Tiedotteita. Research Notes 2303, 104 p.
6. Bondareva N.N. The current state and the perspectives of robotics development: in the global and Russia. MIR [World] (Modernization. Innovation. Research), 2016, vol. 7, no. 3, pp. 49–57. (In Russian) doi: 10.18184/2079-4665.2016.7.3.49.57
7. Ross L.T., Fardo S.W., Masterson J., Towers R. Robotics: Theory and Industrial Applications. 2nd ed. Goodheart-Willcox, 2011, 317 p.
8. Robo Global Defining the Universe of Robotics & Automation for Investors. URL: http://roboglobal.com/system/pdf_attachments/documents/000/000/299/original/Robo_Global_Presentation_JAN_2017.pdf (accessed: 27.05.2017).
9. Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots, 2016, pp. 11–18. URL: ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf (accessed: 10.06.2017).
10. Bui Dinh Bao, Latyev S.M., Beloivan P.A., Tabachkov A.G. Analysis of lens registration in mounts. Journal of Optical Technology, 2015, vol. 82, no. 12, pp. 792–795. doi: 10.1364/JOT.82.000792
11. Latyev S.M., Bui Dinh Bao, Beloivan P.A., Tabachkov A.G. Analysis of certain issues in the assembly of fast objectives. Journal of Optical Technology, 2015, vol. 82, no. 12, pp. 796–799. doi: 10.1364/JOT.82.000796
12. Latyev S.M., Beloivan P.A. Effect of mounting gaps between components on the centering of lens objectives. Journal of Optical Technology, 2016, vol. 83, no. 12, pp. 738–742. doi:

13. Арасланов Д.Ю., Табачков А.Г. Методика изготовления фронтальных компонентов микрообъективов // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. №1-1. С. 263.
14. Табачков А.Г., Латыев С.М., Фролов Д.Н. Унификация конструкций линзовых микрообъективов // *Оптический журнал*. 2011. Т. 78. № 1. С. 38–44.
15. Латыев С.М., Табачков А.Г., Фролов Д.Н., Резников А.С. Унификация оптических и механических конструкций линзовых микрообъективов // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2011. Т. 54. № 11. С. 14–21.
16. Алиев Т.И., Падун Б.С. Оптимизация процессов сборки микрообъективов // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2010. Т. 53. № 8. С. 39–46.
17. Падун Б.С., Латыев С.М. Интегрированная система автоматизации сборки микрообъективов // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2010. Т. 53. № 8. С. 34–39.
18. Латыев С.М., Смирнов А.П., Воронин А.А., Падун Б.С., Яблочников Е.И. и др. Концепция линии автоматизированной сборки микрообъективов на основе адаптивной селекции их компонентов // *Оптический журнал*. 2009. Т. 76. № 7. С. 79–83.
19. Латыев С.М., Смирнов А.П., Табачков А.Г., Фролов Д.Н., Шухат Р.В. Проект линии автоматизированной сборки микрообъективов // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2011. Т. 54. № 11. С. 7–12.
20. Angular Air Gripper. Series MHC2/MHCA2/MHCM2. URL: http://www.kampm.ru/pdf/PnevCyl/grip_angle/mhc2.pdf (дата обращения: 01.06.2017).
21. Пневматический захват серия МНУ2. URL: smc138.valuehost.ru/c5/mhy2.pdf (дата обращения: 05.06.2017).
22. Toggle Style Air Gripper. Series MHT2. URL: www.smclt.lt/failai/MHT2_EU.pdf (дата обращения: 15.06.2017).
23. 180° Angular Gripper, Rack and Pinion Style. Series MHW2. URL: www.dianas.ru/netcat_files/261/285/h_4d1f77223fdf3aee38950a2185ddb2b4 (дата обращения: 10.06.2017).
24. Wedge Cam Operation Slide Guide Air Gripper Series MHK2. URL: smc138.valuehost.ru/c5/mhk2.pdf (дата обращения: 10.06.2017).
25. Параллельный захват серия МНЗ2. URL: smc138.valuehost.ru/c5/mhz2.pdf (дата обращения: 10.06.2017).
26. Пневматический захват параллельного типа MHS. URL: mk-pnevmocenter.ru/images/pdf/mhs-obzor.pdf (дата обращения: 10.06.2017).
27. Медунецкий В.М., Николаев В.В. Методика оценки уровня качества механических изделий в процессе их проектирования // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2016. Т. 16. № 6. С. 1128–1132. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1128-1132
28. Keeney R.L., Raiffa H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press, 1993, 592 p.
29. Lisetskiy Yu.M. Method of complex expert evaluation for difficult technical systems planning // *Matematicheskie Mashinyi Sistemy*. 2006. N 2. P. 141–146.
30. Boardman A.E., Greenberg D.H., Vining A.R., Weimer D.L. *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 3rd ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2006, 560 p.
31. Altshuller G. *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation, and Technical Creativity*. Technical Innovation Center, Worcester, 1999, 312 p.
32. Savransky S.D. *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. Boca Raton, CRC Press, 2000.
33. Kim J.H., Lee J.Y., Kang S.W. The acceleration of TRIZ propagation in Samsung Electronics // *Proc. ETRIA TRIZ Future 2005 Conference*. Graz, Austria, 2005.
- 10.1364/JOT.83.000738
31. Araslanov D.Yu., Tabachkov A.G. Procedure of manufacturing the front parts microobjective. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2015, no. 1-1, p. 263. (In Russian)
32. Tabachkov A.G., Frolov D.N., Latyev S.M. Standardizing the designs of lens microscope objectives. *Journal of Optical Technology*, 2011, vol. 78, no. 1, pp. 30–34. (In Russian)
33. Latyev S.M., Tabachkov A.G., Frolov D.N., Reznikov A.S. Unification of optical and mechanical design of lens microobjectives. *Journal of Instrument Engineering*, 2011, vol. 54, no. 11, pp. 14–21. (In Russian)
34. Aliev T.I., Padun B.S. Optimization of microlens assembly processes. *Journal of Instrument Engineering*, 2010, vol. 53, no. 8, pp. 39–46. (In Russian)
35. Padun B.S., Latyev S.M. Integrated system of automated assembly of microlenses. *Journal of Instrument Engineering*, 2010, vol. 53, no. 8, pp. 34–39. (In Russian)
36. Latyev S.M., Smirnov A.P., Voronin A.A., Padun B.S., Yablochnikov E.I. et al. Concept of automated assembly line of microscop lens based on adaptive selection of their components. *Journal of Optical Technology*, 2009, vol. 76, no. 7, pp. 436–439. doi: 10.1364/JOT.76.000436
37. Latyev S.M., Smirnov A.P., Tabachkov A.G., Frolov D.N., Shukhat R.V. Design of automated assembly line for microscop lens. *Journal of Instrument Engineering*, 2011, vol. 54, no. 11, pp. 7–12.
38. Angular Air Gripper. Series MHC2/MHCA2/MHCM2. URL: http://www.kampm.ru/pdf/PnevCyl/grip_angle/mhc2.pdf (accessed: 01.06.2017).
39. Air Gripper. Series MHY2. URL: smc138.valuehost.ru/c5/mhy2.pdf (accessed: 05.06.2017).
40. Toggle Style Air Gripper. Series MHT2. URL: www.smclt.lt/failai/MHT2_EU.pdf (accessed: 15.06.2017).
41. 180° Angular Gripper, Rack and Pinion Style. Series MHW2. URL: www.dianas.ru/netcat_files/261/285/h_4d1f77223fdf3aee38950a2185ddb2b4 (accessed: 10.06.2017).
42. Wedge Cam Operation Slide Guide Air Gripper Series MHK2. URL: smc138.valuehost.ru/c5/mhk2.pdf (accessed: 10.06.2017).
43. Parallel Gripper Series MHZ2. URL: smc138.valuehost.ru/c5/mhz2.pdf (accessed: 10.06.2017).
44. Air Gripper of Parallel Type MHS. URL: mk-pnevmocenter.ru/images/pdf/mhs-obzor.pdf (accessed: 10.06.2017).
45. Medunetskiy V.M., Nikolaev V.V. Estimation technique of mechanical products quality level in design process. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 6, pp. 1128–1132. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1128-1132
46. Keeney R.L., Raiffa H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press, 1993, 592 p.
47. Lisetskiy Yu.M. Method of complex expert evaluation for difficult technical systems planning. *Matematicheskie Mashinyi Sistemy*, 2006, no. 2, pp. 141–146.
48. Boardman A.E., Greenberg D.H., Vining A.R., Weimer D.L. *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 3rd ed. New Jersey, Upper Saddle River, 2006, 560 p.
49. Altshuller G. *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation, and Technical Creativity*. Technical Innovation Center, Worcester, 1999, 312 p.
50. Savransky S.D. *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. Boca Raton, CRC Press, 2000.
51. Kim J.H., Lee J.Y., Kang S.W. The acceleration of TRIZ propagation in Samsung Electronics. *Proc. ETRIA TRIZ Future 2005 Conference*. Graz, Austria, 2005.

Авторы

Медунецкий Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация, vm57med@yandex.ru

Падун Борис Степанович – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация, bsp.tps.ifmo@mail.ru

Николаев Вячеслав Викторович – главный конструктор, ЗАО «Системы управления и приборы», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, mak5@inbox.ru

Authors

Viktor M. Medunetskiy – D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, vm57med@yandex.ru

Boris S. Padun – PhD, Associate Professor, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, bsp.tps.ifmo@mail.ru

Vyacheslav V. Nikolaev – Chief Design Manager, "Control Systems and Instruments", JSC, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, mak5@inbox.ru