

АВТОМАТИЗОВАННОЕ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОЕ МОДУЛЬНОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ТИПА “ПРИЗМА”

The automated readjusted modular prismatic setup

Automatyczny przezbrajalny przyrząd modułowy typu “pryzma”

Валерий КИРИЛОВИЧ, Илона КРЫЖАНОВСКАЯ, Тарас ЮСЬКИВ

А н н о т а ц и я: Существующие конструкции приспособлений типа “призма” указывают только лишь на принципиальную возможность их переналадки для базирования в них объектов манипулирования (ОМ) с различными диаметральными и линейными размерами поверхностей базирования, имеют низкую производительность и неавтоматизированы при переналадке. Предлагаемая конструкция переналаживаемого приспособления типа “призма” позволяет расширять параметры технологического взаимодействия схвата (Сх) промышленного робота (ПР) с ОМ, сбазированным в приспособлении (векторы подхода Сх к ОМ, координаты точки зажима ОМ в Сх), за счет наличия двух базирующих призм, установленных с возможностью перемещения вдоль оси ОМ (реализуется модулем горизонтальных перемещений – МГП), и перпендикулярно оси ОМ (реализуется модулями вертикальных перемещений – МВП каждой из призм). Составляющими разработанной схемы компоновочной разработанного приспособления есть шаговые двигатели для перемещений рабочих органов МГП и МВП. Рабочими органами для МГП есть модуль линейных перемещений с двумя каретками, установленными в корпусе с возможностью согласованного одновременного противоположно направленного взаимного перемещения каждой из двух кареток (выпускается серийно), а для МВП – два модуля линейных перемещений с одной кареткой на каждом модуле (выпускаются серийно). На каждой из кареток неподвижно установлена одна базирующая призма МВП. Процесс наладки (переналадки) реализует разработанный модуль наладки (МАН), состоящий из блока датчиков, контролирующих величины горизонтальных и вертикальных перемещений призм при наладке приспособления для базирования в нем ОМ с другими размерами поверхностей базирования, главного контроллера, информационно взаимодействующего с персональным компьютером и с тремя парами контролер-драйвер для МГП и МВП каждой из двух базирующих призм. Процесс переналадки разработанного приспособления сводится к управлению работой шаговых двигателей, перемещаемых базирующие призмы на основании предварительно рассчитанных параметров переналадки.

Предлагаемая конструкция переналаживаемого приспособления типа “призма” предназначена для использования в роботизированных механосборочных технологиях, реализуемых в гибких компьютерно-интегрированных системах серийного и мелкосерийного типов производств.

К л ю ч е в ы е с л о в а: приспособление, призма, объект манипулирования, переналадка, роботизированное производство, модуль

A b s t r a c t: The existing designs of prismatic setup indicate only the theoretical possibility of their changeover for basing on them objects for manipulation (OM) with different diametrical and linear dimensions of the basing surfaces, have low productivity and are not automated when reconfiguring. The proposed design of a re-adjustable prismatic setup allows to advance the parameters of the technological interaction of the gripper (Gr) of the industrial robot (IR) with the OM basing on the prismatic device (translation vectors to OM, the coordinates of the clamping point of OM in Gr, due to the presence of two base prisms installed with the possibility of moving along the axis of OM (implemented by the module of horizontal displacements – MHD), and perpendicular to the axis of OM (implemented by the modules of vertical displacements – MVD of each prism). The components of the designed layout of the proposed setup are stepper motors for moving the working parts of the MHD and the MVD. The working part for MHD is a module of linear movements with two carriages having the possibility of coordinated simultaneous opposite mutual movement of each of the two carriages (manufactured commercially), and for MVD it is two linear displacement modules with one carriage on each module (manufactured commercially).

On each of the carriages, a basing prism of MVD is fixed. The adjustment process is implemented with the help of developed the automated adjustment module (AAM) consisting of a block of sensors controlling the horizontal and vertical displacements of the prisms when adjusting the setup for basing OM on it with other dimensions of the basing surfaces, the main controller interacting with the personal computer and with three pairs of controller-driver for MGD and MVD of each of the two prisms. The process of readjustment of the developed setup is reduced to controlling the operation of stepper motors, moving basing prisms in accordance with previously calculated parameters of the changeover.

The proposed adaptable prismatic setup is designed for using in robotic mechanic-assembly technologies implemented in flexible computer-integrated systems of large and small-scale types of production.

К e y w o r d s: setup, prism, manipulation object, readjustment, robotic production, module

Введение

По данным Международной федерации робототехники (International Federation of Robotics – IFR) [1] ежегодный мировой прирост выпуска и внедрения промышленных роботов (ПР) в различные сферы производства за последние 5 лет в среднем составляет около 15%.

При реализации роботизированных механосборочных технологий (РМСТ), т.е. технологий с использованием ПР в металлообработке и сборке, важным является положение объекта манипулирования (ОМ) в призме. Именно соотношения геометрических особенностей приспособления и ОМ определяют параметры технологического взаимодействия Сх с установленным в призме ОМ [2], определяют параметры синтезируемых траекторий перемещения Сх как таковых [3] и оптимальных в заданном смысле (например, по быстродействию, по энергоемкости и т.д.) [4].

Постановка проблемы

Как правило, в условиях упорядоченной роботизированной среды [5] необходимо выполнить определенные требования относительно положения средств технологического оснащения, в том числе призм, в системе координат ПР для обеспечения последующего технологического взаимодействия Сх ПР с ОМ, базирuemых в призме [2, 4]. Это особенно важно для условий мелкосерийного и серийного типов производств, характерных для гибких производств, когда очевидна необходимость в переналадке приспособлений типа “призма” в связи с частой сменой номенклатуры ОМ, изменения объемов их выпуска и т.д.

Поэтому очевидно, что неэффективное использование средств технологического оснащения роботизированных производств (в том числе приспособлений типа “призма”) отрицательно влияет на эффективность использования таких дорогостоящих и универсальных средств производственной автоматизации, каковыми есть ПР [1].

Анализ информационных источников, указанных выше и далее, показал наличие в производственной практике металлообработки двух основных подходов к проектированию и эксплуатации многих типов приспособлений, в том числе приспособлений типа “призма”.

Первый подход характерен для базирования ОМ в приспособлениях типа “призма” для выполнения различных металлообрабатывающих технологий в основном в условиях массового и крупносерийного типов производств. Его смысл заключается в проектировании и изготовлении приспособлений типа “призма” для каждой партии конкретного ОМ. С изменением ОМ предварительно сконструированное и изготовленное приспособление за редким исключением является непригодным для использования, и для ОМ другой номенклатуры проектируется и изготавливается другое

приспособление и т.д. Очевидна при этом большая трудоемкость конструкторской и технологической подготовки производства компонентов и их сборки в приспособление, большая их стоимость, невозможность многократного использования приспособлений типа “призма” при изменении ОМ и фактическая невозможность их переналадки.

Другой подход характерен для базирования ОМ в условиях мелкосерийного и среднесерийного типов производств с использованием, например, универсально-сборных приспособлений (УСП), универсально-переналаживаемых приспособлений (УПП) и т.д., в состав которых входят стандартные наборы типовых элементов, включая призмы, элементы крепления, базовые элементы (пластины) и т. п. При этом для конкретных цилиндрических ОМ проектируются конкретные приспособления с установкой базирующих призм различных конструктивных исполнений на соответствующей базовой пластине, выдерживая геометрические параметры их относительного положения в зависимости от длины и диаметров поверхностей базирования ОМ. После выпуска партии определенного ОМ приспособление разбирается и для ОМ другой номенклатуры проектируется и собирается другое приспособление [6, 7]. Указанное выполняется вручную, что свидетельствует о значительной трудоемкости проектирования и изготовления таких приспособлений, невозможности переналадок, тем более автоматизированных, уже собранных приспособлений.

Такой подход не обеспечивает быстродействия и автоматизации процессов переналадки, уменьшает гибкость роботизированных механосборочных производств и отрицательно влияет на эффективность выпуска изделий относительно производительности, себестоимости и т.п. при реализации РМСТ.

Указанное подчеркивает актуальность и важность проведения исследований по решению разноплановых задач конструктивного, технического и технологического содержания, повышающих эффективность роботизированных механосборочных производств в целом.

Целью работы является повышение эффективности использования средств технологического оснащения роботизированных механосборочных производств для реализации в них РМСТ за счет разработки конструкции приспособления типа “призма” и системы его автоматизированной переналадки, что увеличивает производительность процесса переналадки, повышает гибкость и уровень автоматизации при использовании таких приспособлений в условиях гибких компьютерно-интегрированных систем.

Изложение основного материала

Основными требованиями к базированию ОМ в призме с учетом того, призма рассматривается как “вход” в определенную роботизированную

технологическую структуру, например, гибкую производственную ячейку, кроме обеспечения определенной точности базирования ОМ, является обеспечение устойчивого положения ОМ в призме (призмах) за счет обеспечения проекции центра тяжести ОМ на тело призмы или в междупризмовое пространство, а также обеспечение горизонтальной оси ОМ. В связи с этим у проектанта появляется возможность формировать такие конструкции приспособлений с использованием призм, которые при РМСТ реализовывали бы необходимые геометрические параметры их (призм) взаимного расположения, значительно расширяя множество возможных ориентаций Сх, векторов подхода Сх к ОМ и линейные координаты базирования ОМ в Сх при этих подходах, обеспечивая при этом так называемые линейные (ЛПС) и угловые (УПС) параметры сервиса [2, 4].

Для одноступенчатого цилиндрического вала (простейший случай ОМ) базирующие призмы устанавливаются с возможностью перемещения в горизонтальном направлении (вдоль оси ОМ). Параметры этих перемещений зависят от осевых размеров ОМ, от расположения призм в системе координат ПР и от конструктивных особенностей их (призм) базирующих поверхностей при одинаковых диаметральных и варьируемых осевых размерах поверхностей базирования конкретного ОМ в приспособлении с обеспечением при этом горизонтальной оси ОМ. Указанное

в значительной степени определяет количество альтернатив ЛПС и КПС [4].

ОМ в форме трех- или четырехступенчатого вала с различными диаметральными и осевыми размерами есть примером более показательным. Основные элементы анализа в его первичной постановке, выполняемого, как правило, технологом, заключаются в определении геометрических параметров осевого положения базирующих поверхностей призм между собой с учетом положения базирующих поверхностей ОМ в призмах.

Для примера на рис.1 диаметры D_1 и D_3 имеют различные размеры и для компенсации линейных размеров базирующих диаметральных размеров ОМ призмы должны быть подвижными как в осевом направлении относительно ОМ, так и подвижными в вертикальном направлении для компенсации разницы диаметральных размеров D_1 и D_3 и обеспечения ЛПС и УПС при закреплении ОМ в Сх ПР (Схват 1, Схват 2, Схват 3 на рис. 1).

Иллюстрации примеров определения величин горизонтальных и вертикальных перемещений при переналадке призм Пр1 и Пр2 при базировании цилиндрических ОМ в переналаживаемом приспособлении типа "призма" представлены на рис. 2, пример 1. Здесь трехступенчатый ОМ имеет разные диаметральные размеры D_1 и D_3 (базирующие поверхности ОМ) и различные осевые размеры.

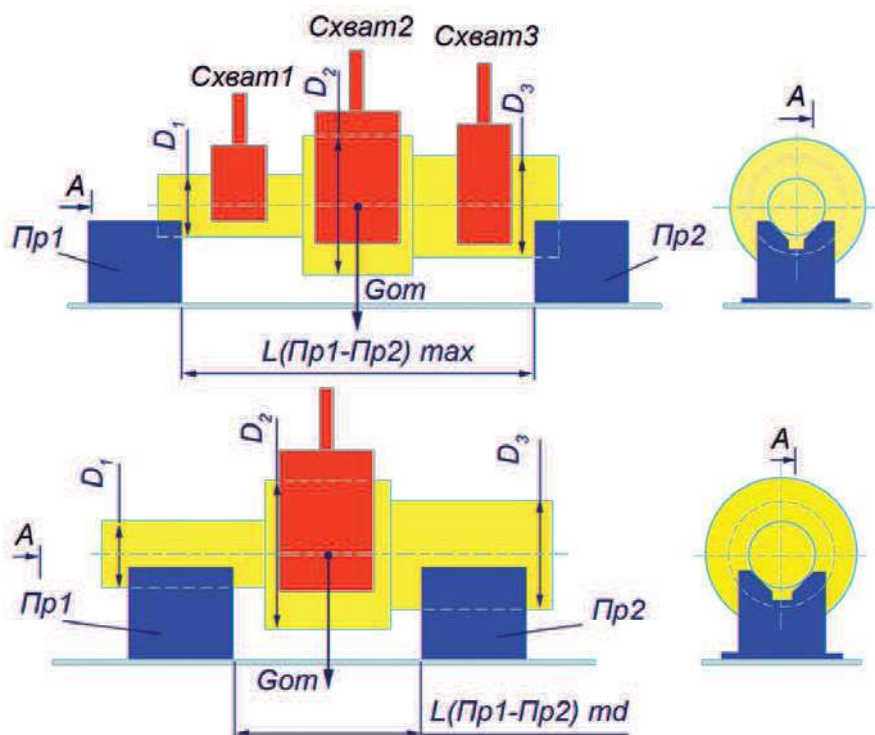


Рис. 1. Примеры базирования цилиндрических ОМ (желтый цвет) в переналаживаемом приспособлении типа "призма" (синий цвет) с указанием возможных поверхностей базирования и закрепления ОМ в Сх ПР (красный цвет) при различном положении призм Пр1 и Пр2

Fig. 1. The examples of basing cylindrical OM (yellow color) in the redistributable prismatic setup (blue color) with indication of possible surfaces of the basing and fixing the OM in IR's Gr (red color) with different position prisms Pr1 and Pr2

Условия сохранения горизонтального положения оси данного ОМ рассчитываются по результатам несложного анализа указанных размеров D_1 и D_3 .

Пример 2 (рис. 2) иллюстрирует расчеты для двухступенчатого ОМ, имеющего различные диаметральные и осевые размеры поверхностей базирования. Если в примере 1 разница базиремых диаметров ОМ равна 15 мм, то в примере 2—50 мм. И поэтому, как видно из схемы на рис. 2, необходимо либо Пр1 перемещать на 15 мм в вертикальном направлении, либо Пр2 перемещать на 15 мм в противоположном направлении, либо обе призмы Пр1 и Пр2 одновременно перемещать вертикально в противоположных направлениях на 7,5 мм каждую.

Относительные положения призм Пр1 и Пр2 определяются проектировщиком (пользователем) и тем самым формируется возможность Сх ПР подходить к соответствующим поверхностям ОМ с теми или иными векторами подхода (УПС), по тем или иным линейными параметрами (ЛПС) в системе координат ОМ, что в целом определяет параметры технологического взаимодействия Сх ПР с ОМ, а именно: изменяется количество альтернатив относительно базирования и закрепления ОМ в Сх ПР, установки ОМ в других приспособлениях рабочих позиций для дальнейшей реализации РМСТ.

Для примера 2 (см. рис. 2) величина полуразницы диаметров D_1 и D_3 равна 50 мм. Это предполагает альтернативность конструктивных решений проектируемого приспособления, а именно: или Пр1 перемещается в вертикальном направлении на 50 мм, или Пр2 перемещается в другом направлении на такую же величину, или обе призмы Пр1 и Пр2 одновременно перемещаются в противоположные стороны на 25 мм

каждая. Очевидно, что одновременное перемещение призм Пр1 и Пр2 увеличивает производительность процесса переналадки, а автоматическое их выполнение повышает как производительность, так и уровни автоматизации и гибкости таких приспособлений.

Изложенное выше позволило разработать схему компоновочную переналаживаемого приспособления типа “призма”, являющейся комбинированным представлением предварительно разработанной схемы кинематической (здесь не приводится, но очевидна из рис. 3) с учетом размещения исполнительных механизмов перемещений базирующих призм Пр1 и Пр2.

Указанная схема реализована по модульному принципу и содержит:

- МГП – модуль горизонтальных перемещений призм Пр1 и Пр2, приводимый в движение соответствующим двигателем $M_{МГП}$;
- МВП – модуль вертикальных перемещений призм Пр1 и Пр2, приводимых в движение двигателями соответственно $M_{МВП_{Пр1}}$ и $M_{МВП_{Пр2}}$.

МГП и МВП образуют ММП – модуль механических перемещений.

В качестве исполнительного механизма МГП избран серийно выпускаемый модуль линейный (KS05-04-0250-C-2-M1DB-S1-5-F1) [8] с двумя каретками (здесь и далее в скобках () указаны конкретные модели аппаратных составляющих предлагаемого приспособления), установленных в одном корпусе с возможностью их (карок) синхронного противоположно направленного взаимного перемещения, а в качестве исполнительных механизмов МВП выбраны два модуля линейные (KS05-04-0400-C-M1DB-S1-5-F1) [8] с одной кареткой на каждом модуле.

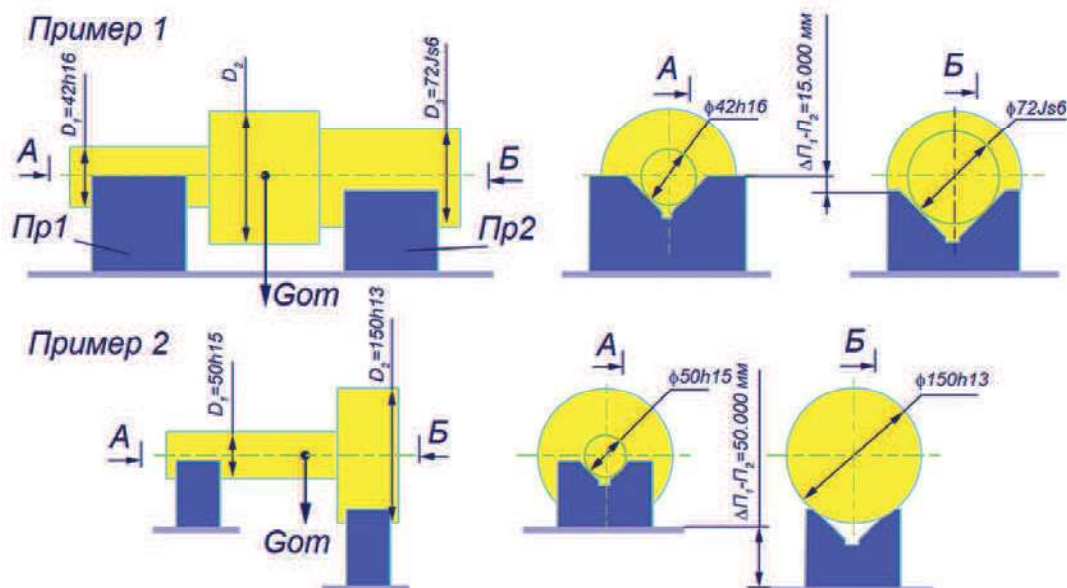


Рис. 2. Графическая иллюстрация примера определения величин вертикальных перемещений при переналадке призм Пр1, Пр2
Fig. 2. The graphical illustration of an example of determining the values of vertical displacements when adjusting prisms Pr1, Pr2

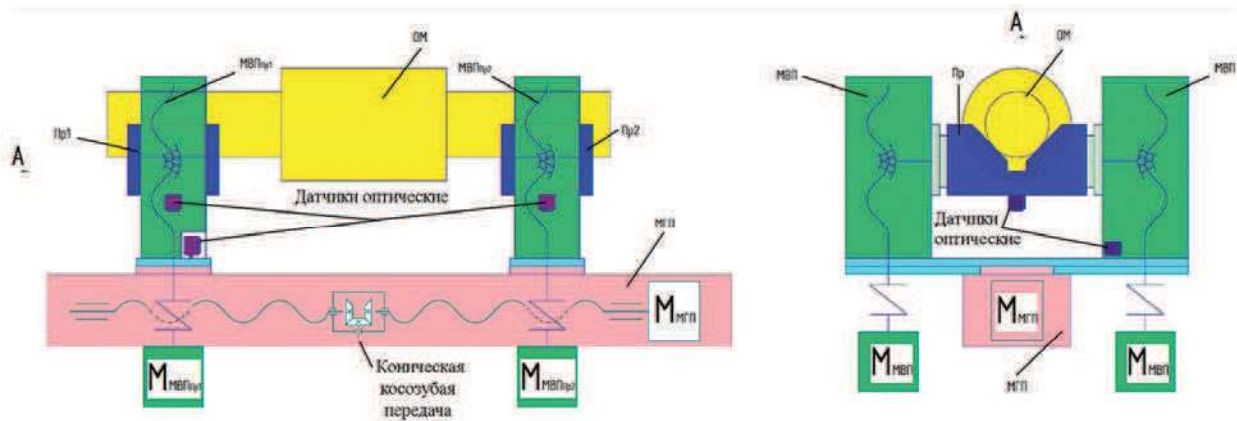


Рис. 3. Схема компоновочная переналаживаемого приспособления типа "призма"
 Fig. 3. The layout schema of the readjusting prismatic setup

Каждая из призм Пр1 и Пр2 неподвижно закреплена на каретке каждого из модулей вертикальных перемещений (KS05-04-0400-C-M1DB-S1-5-F1).

Исполнительные механизмы МГП и МВП призм приводятся в движение шаговыми двигателями (9FRST01102401) [9]. Контроль величин указанных перемещений выполняется с помощью трех датчиков [10].

Конструктивная реализация переналаживаемого приспособления типа "призма" обеспечивает базирование ОМ со следующими параметрами:

- базисуемых ОМ: $D_{max} = 150$ мм; $D_{min} = 30$ мм; $L_{max} = 300$ мм; $L_{min} = 50$ мм;
- дискретность линейных перемещений МГП ($\Delta_{МГП}$) и МВП ($\Delta_{МВП}$), т. е. перемещений призм Пр1 и Пр2 в горизонтальном и вертикальном направлениях, составляет 0,02 мм.

Последний параметр получен с учетом технических характеристики выбранных шаговых двигателей FRST01102401, имеющих угловой шаг $\alpha_M = 1,8^\circ$ (всего 200 угловых шагов за 1 оборот ротора) и технических характеристик исполнительных механизмов МГП

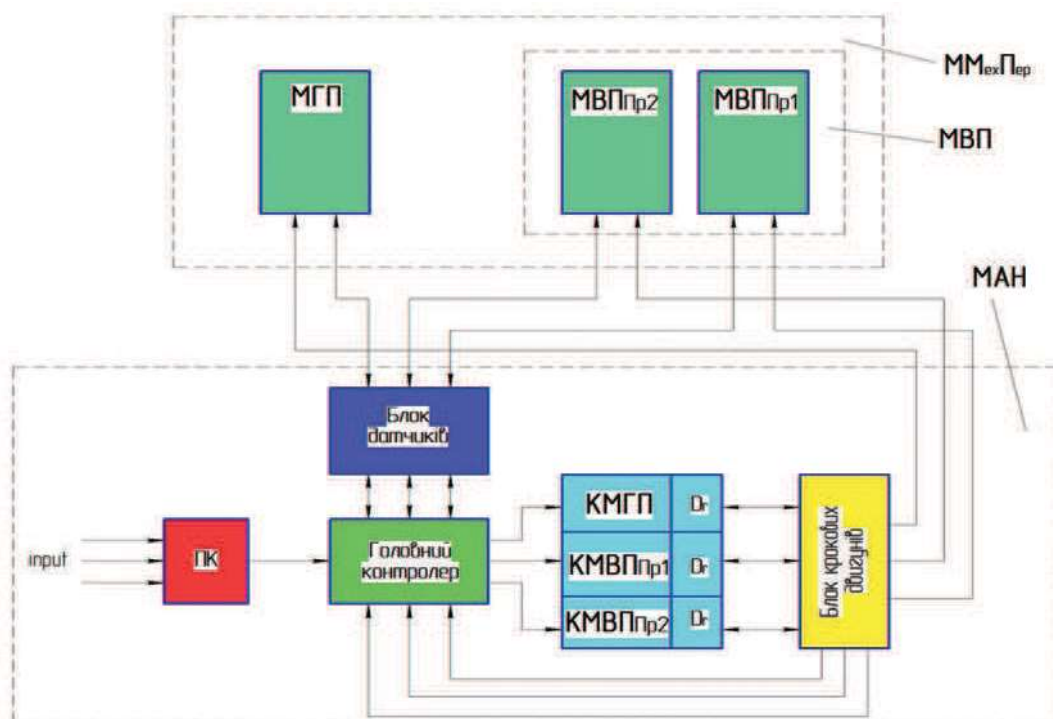


Рис. 4. Схема структурно-функциональная автоматизированной системы наладки (переналадки) приспособления типа "призма"
 Fig. 4. The structural-functional scheme of the automated adjustment (readjustment) system of the prismatic setup

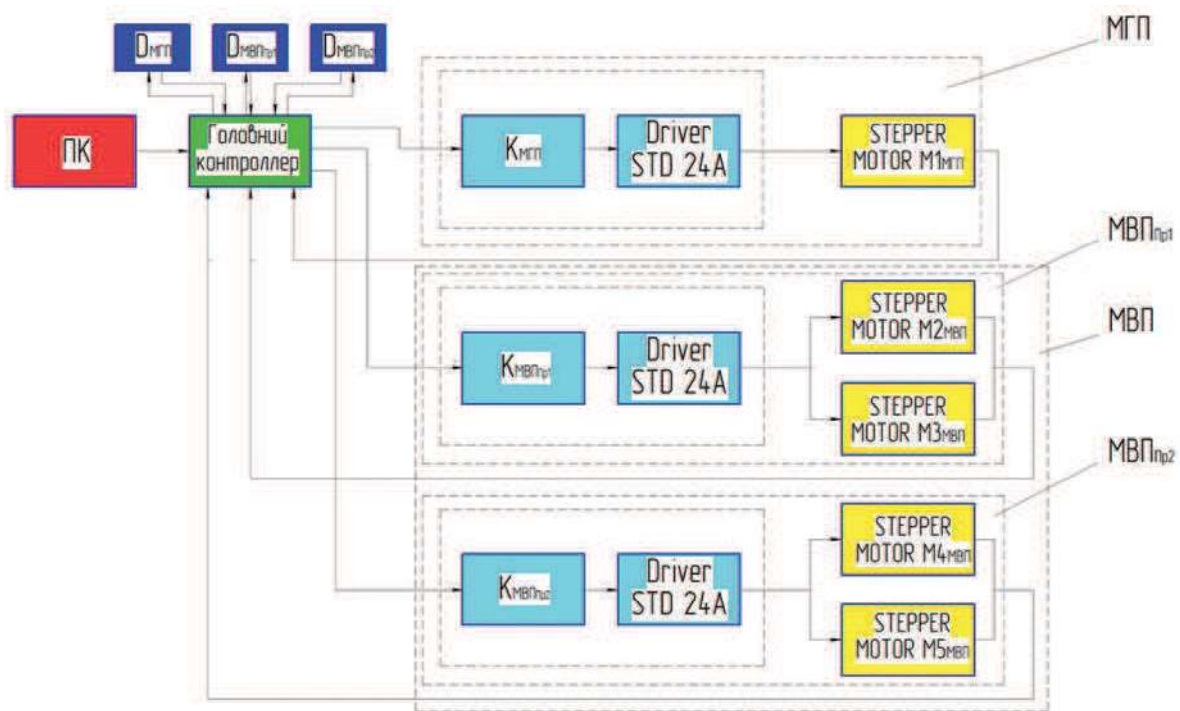


Рис. 5. Схема структурная модуля автоматизированной наладки (МАН) приспособления типа "призма"
 Fig. 5. The structural scheme of the automated adjustment module (AAM) of the prismatic setup

и МВП, имеющих однозаходные ($k = 1$) механические передачи "винт-гайка качения" с шагом $t_{Г-ГК} = 4$ мм. Поэтому:

$$\Delta_{МГП} = \Delta_{МВП} = \frac{\alpha_M \cdot t_{Г-ГК} \cdot k}{360^\circ} = \frac{1,8 \cdot 4 \cdot 1}{360^\circ} = 0,02 \text{ мм.}$$

Для обеспечения функционирования предложенной конструкции переналаживаемого приспособления типа "призма" разработана схема структурно-функциональная автоматизированной системы наладки (переналадки) приспособления типа "призма" (рис. 4). Ее основные компоненты следующие:

- модуль горизонтальных перемещений МГП;
- модули вертикальных перемещений призм Пр1 и Пр2, то есть МВП_{Пр1}, МВП_{Пр2};
- лок датчиков;
- блок шаговых двигателей, информационно связанных с их контроллерами и драйверами;
- главный контроллер (SIMENS CPU1211C), который обрабатывает необходимую входную информацию и выдает команды на соответствующие пары драйвер-контроллер каждого из шаговых двигателей (FRST01102401).

Кроме названных модулей МГП и МВП в состав указанной схемы входит модуль автоматизированной наладки (МАН). Схема структурная МАН представлена на рис. 5 и содержательно представляет собой основные модули и их составляющие и информационные связи между ними. Функции МАН заключаются

в управлении исполнительными механизмами перемещений призм Пр1 и Пр2.

Содержание процесса наладки (переналадки) сводится к управлению работой шаговых двигателей и выполняется по предварительным расчетам, выполняемым пользователем на персональном компьютере (ПК), и кратко сводится к следующему:

- для существующих типовых форм ОМ (или вновь внесенных в их базу данных на ПК) определяются необходимые настроечные размеры и параметры наладки;
- результаты расчетов передаются на главный контроллер, откуда поступают на контроллеры $K_{МГП}$, $K_{МВП_{Пр1}}$, $K_{МВП_{Пр2}}$ команды с которых через соответствующие драйверы Driver STD 24A управляют шаговыми двигателями STEPPER MOTOR $M1_{МГП}$, STEPPER MOTOR $M2_{МВП_{Пр1}}$, STEPPER MOTOR $M3_{МВП_{Пр1}}$, STEPPER MOTOR $M4_{МВП_{Пр2}}$, STEPPER MOTOR $M5_{МВП_{Пр2}}$, приводящими в движение исполнительные механизмы соответствующих модулей МГП, МВП_{Пр1}, МВП_{Пр1}. Контроль величин перемещений производится датчиками соответственно $D_{МГП}$, $D_{МВП_{Пр1}}$, $D_{МВП_{Пр2}}$.

Выводы

Разработана модульная конструкция переналаживаемого приспособления типа "призма" и автоматизированная система его (приспособления) переналадки. Модульность конструкции определена

разработанными МГП, МВП и МАН. Это обеспечивает автоматизированную переналадку взаимного положения двух базирующих призм в горизонтальном и вертикальном направлениях, в свою очередь обеспечивающих базирование ОМ с широким интервалом диаметральных и осевых размеров, повышенную производительность процесса переналадки, а также повышенную гибкость технологической оснастки типа “призма” для использования таких приспособлений при реализации РМСТ в условиях мелко- и среднесерийного типов производств в гибких компьютерно-интегрированных системах машино- и приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots. URL: https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf (дата обращения 04.02.2018).
- [2] Мельничук П.П., Кирилович В.А., Моргунов Р.С. Задачі технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання в механо-складальних гнучких виробничих комірках // Збірник наукових праць Житомирського державного технологічного університету “Процеси механічної обробки в машинобудуванні”. – Житомир. – 2011. – Вип. № 10. – С. 24-41.
- [3] Automated research of trajectory problems in Industrial Robotics by the criterion of power consumption / [Valerii Kyrylovych, Petro Melnychuk, Lubomir Dimitrov, Roman Morgunov, Aleksandr Pidtychenko] // Recent. Industrial Engineering Journal.- Transilvania University of Brasov, Romania. – Vol. 15 (2014). – №3 (43). – November, 2014. – P. 184–190.
- [4] Кирилович В.А., Мельничук П.П., Моргунов Р.С. Методично-програмне забезпечення визначення технологічних параметрів сервісу для тіл обертання // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – № 1 (8). – С. 226-232.
- [5] Siciliano Bruno, Oussama Khatib. Handbook of Robotics / Berlin: Springer, 2008. – 1631 p.
- [6] Детали, сборочные единицы и средства механизации универсально-сборных приспособлений к металлорежущим станкам. Каталог 31.1123.40-83. – Москва, 1985. – 367 с.
- [7] Приспособления универсально-сборные. Рекомендации по агрегатированию. – М.: НИИмаш., 1980. – 150 с.
- [8] Модули линейного перемещения. https://www.hiwin.com.ru/linear_stages/ (дата обращения 04.02.2018).
- [9] Шаговые моторы. <https://www.hiwin.com.ru/servoprivods/> (дата обращения 04.02.2018).
- [10] ИК-датчики оптические для измерения расстояний. https://arduino.ua/prod193-IK_datchik_dvijeniya (дата обращения 04.02.2018).

Валерий Кирилович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий (А и КИТ) им. проф. Б.Б. Самотокина Житомирского государственного технологического университета (ЖГТУ), г. Житомир, Украина, e-mail: kiril_va@yahoo.com

Илона Крыжановская, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий (А и КИТ) им. проф. Б.Б. Самотокина Житомирского государственного технологического университета (ЖГТУ), г. Житомир, Украина, e-mail: krilonika@gmail.com

Тарас Юськив, магистр, выпускник кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий (А и КИТ) им. проф. Б.Б. Самотокина Житомирского государственного технологического университета (ЖГТУ), г. Житомир, Украина, e-mail: desdichydo@ukr.net