

УДК 681.5; 621.83; 621.941
doi:10.18720/SPBPU/2/id24-113

М.В. Сержантова¹, В.М. Медунецкий², С.М. Дьяченко³

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СБОРОЧНО-КОМПЛЕКТУЮЩИЙ МОДУЛЬ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВВЕДЕНИЯ КОМАНД ОТ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА



¹Майя Вячеславовна Сержантова,
Санкт-Петербургский университет аэрокосмического
приборостроения
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)494-70-30, E-mail: xyz43210@mail.ru



²Виктор Михайлович Медунецкий,
Санкт-Петербургский университет аэрокосмического
приборостроения
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)494-70-30, E-mail: vm57med@yandex.ru



³Сергей Максимович Дьяченко,
Санкт-Петербургский университет аэрокосмического
приборостроения
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)494-70-30, E-mail: smd452@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрен сборочно-комплектующий роботизированный модуль с транспортно-распределительной системой поворотного-кругового типа и представлена схема его функционирования. Отмечается, что повысить технологическую гибкость рассматриваемого роботизированного модуля можно путём периодического введения команд от человека-оператора в систему его управления. Результаты исследований показали, что для снижения вероятности возникновения ошибок со стороны человека-оператора надо учитывать его работоспособность в течение рабочей смены. Вследствие использования предложенного подхода повышается производительность круговой транспортно-распределительной системы

Ключевые слова: технологическая сборочная линия, сборочно-комплектующий роботизированный модуль, технологическая гибкость, работоспособность человека-оператора.

Введение

Схемы построения современных технологических линий, сосредоточены на рациональном замещении трудовой деятельности человека робототехническими системами с целью повышения качественных характеристик производства. Этот тренд нашел отражение в формировании технических заданий на проектирование технологических линий и управлении ими.

При организации некоторых производственных процессов следует учесть, что в некоторых вариантах, периодическое введение человека-оператора в технологический процесс позволит повысить технологическую гибкость всей системы.

Гибкая производственная система (ГПС) – это управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний гибких производственных модулей и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования [1]. Ставится задача повысить гибкость конструкторско-технологического решения роботизированной технологической линии с использованием возможности участия человека-оператора (ЧО) в системе управления роботами. Найденное решение с помощью математического моделирования позволяет выявить определенные (оптимальные) интервалы работоспособности ЧО и учесть их для снижения ошибочных действий, вызванных человеческим фактором.

В производственном плане технологическая гибкость – это переход на новую номенклатуру, а также перепрограммирование функционирования роботов, требуемого для новых задач. Определяется величиной требуемых дополнительных расходов и затраченного времени для перехода на выпуск изделий другого наименования [2].

Рассмотрим структуру гибкой производственной системы, как комплекс взаимосвязанных подсистем, показанных на рис. 1.

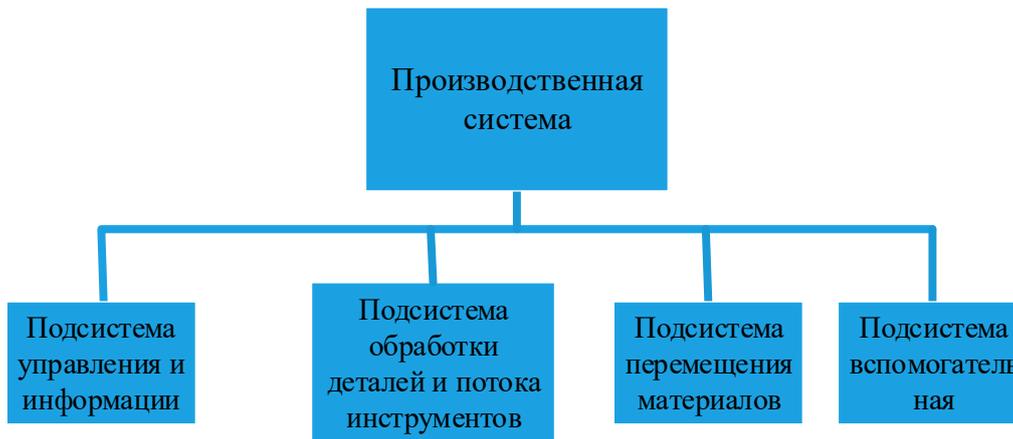


Рис. 1. Подсистемы гибкого производства

Руководствуясь структурой гибкой производственной системы, представленной на рисунке 1 опишем ее компоненты.

Подсистема управления и информации представлена специализированным блоком и включает в себя: расчет выполнения входных заявок партий на изготовление деталей, управления оборудованием, сбор информации о текущем состоянии роботизированных систем, накопление и распределение информации о расположении партий, укомплектованности оборудования и диагностику оборудования, оценивает степень наполнения склада и передает собранную в диспетчерский отдел.

Подсистемы обработки деталей и потока инструментов функционируют в рамках транспортной-распределительной, складской и манипуляционной подсистем.

Подсистема перемещения материалов в форме мобильного робота обслуживает потоки изготавливаемой продукции и потоки оснастки, перемещаясь между транспортно-карусельным модулем и складом готовой продукции.

Вспомогательная подсистема поддерживает работоспособность всей производственной системы в целом, очистка от отходов производства, материальное обеспечение и др.

Данная структура обеспечивает гибкость организационной мобильностью технологических линий, способами транспортировки технологического оборудования и преобразованиями функциональных возможностей схватов манипуляторов. Отметим, что в каждой подсистеме может участвовать человек-оператор.

Разработанное авторами решение поставленной задачи повышения технологической гибкости за счет участия ЧО в технологическом процессе продиктовано экономической необходимостью и вариативностью современного производства отечественной продукции. Размещение

оборудования по окружности обеспечивает гибкость производства при соответствующем наборе оборудования и позволяет достигать высокую производительность и достаточную эффективность при использовании рациональных интервалов времени работоспособности человека-оператора для управления производственным процессом.

Методы

Представим алгоритм решения задачи, состоящий из двух этапов. На первом этапе распределим расстановку технологического оборудования. В этой связи, заслуживает внимания технологическая сборочно-комплектующая роботизированная линия (ТСКРЛ) поворотного-кругового (карусельного) типа, использование которой обеспечивает повышение технологической гибкости при сборочно-комплектующих операциях и перемещении деталей между роботами, а также транспортировке на склад готовой продукции с помощью мобильного робота.

Основные узлы ТСКРЛ — это поворотные столы, один из которых используется для сборочных операций, другой — для временного хранения элементов для сборки [3], здесь технологический сборочный модуль представлен тремя роботами-манипуляторами с возможностью смены у них оснастки (рис. 2). Однако, по мнению авторов целесообразно в технологическом сборочном модуле расположить роботы вне поворотных столов

На рис. 2 линия $a-a$ и высота h_1 являются уровнем плоскости верхнего поворотного-кругового рабочего стола, в котором имеются отверстия для доступа захватных устройств манипуляторов к нижнему столу с контейнерами к которым размещены детали для сборки и частично собранные изделия. h_2 определяет высоту нижнего стола, который вращается вокруг своей оси в обоих направлениях. D_1 и D_2 — двигатели для вращения столов, F_1 и F_2 — фиксаторы для остановки и координация положения столов.

Действия роботов-манипуляторов и углы поворота подвижных частей столов, а также траектории движения роботов-манипуляторов определяются командами специализированного блока управления, осуществляющего формирование и распределение потока команд между ними. В конкретном технологическом процессе количество роботов конкретных моделей задают диаметры столов.

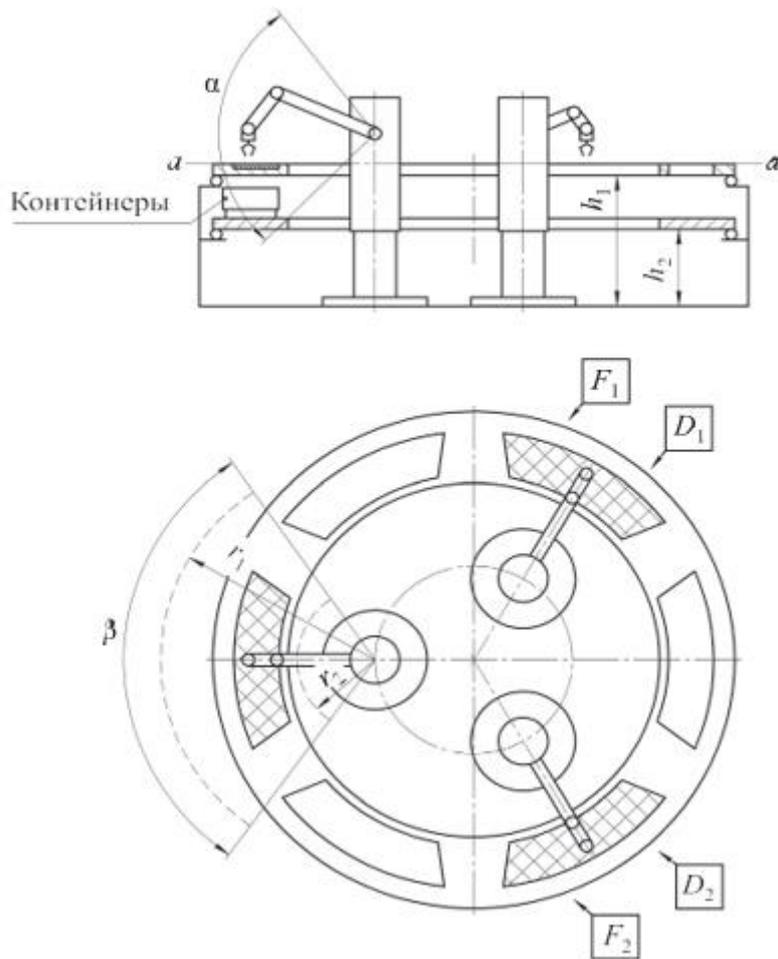


Рис. 2. Технологический сборочный модуль с тремя роботами-манипуляторами (рисунок воспроизводится из работы [3]),

Рациональным решением следует считать формирование траектории движения манипуляторов для подачи деталей на сборку по дуге окружности. Модели роботов и их захваты следует выбирать относительно особенностей собираемых изделий, таких как массогабаритные характеристики, их конфигурация и применяемые материалы. В некоторых работах предлагается применение захватных устройств манипуляторов, конструкция которых позволяет адаптировать усилия схватывания в зависимости от веса и габаритов захватываемой детали, а также работу манипулятора в скользящем режиме в частности - [4].

Распределение заданий между роботами и поворотными столами выполняются в двух режимах: автоматический режим - с помощью компьютерного управления; частично «ручной» режим, когда человек-оператор формирует порядок взаимодействия роботов-манипуляторов и управление мобильным роботом для транспортировки необходимых деталей для сборки и готовых изделий - на склад.

Во фрагментально-ручном режиме управления ТСКРЛ человеком-оператором необходимо учитывать его уровень работоспособности в течение рабочей смены, чтобы снизить вероятность возникновения ошибочных его действий (команд). С этой целью представим формализацию деятельности человека-оператора с помощью инструментария передаточных функций и моделей аппарата пространства состояния [5]. Отметим, что человек-оператор обладает индивидуальным уровнем работоспособности, которая в начале рабочей смены с определенного уровня изменяется в течение рабочей смены. Индивидуальность параметров человека-оператора отображена интервальными параметрами передаточной функции. Если учесть возможность форсирующих свойств у человека-оператора, при наличии запаса его работоспособности, то передаточная функция человека-оператора работоспособности примет вид

$$[W_3(s)] = [k_3] \left[\frac{[T_{33}]s+1}{([T_{31}]s+1)^\mu} - \frac{1}{([T_{32}]s+1)^\nu} \right] \cdot \frac{1}{s}, \quad (1)$$

где соответственно $[k_3]$ – интервальный коэффициент передачи равный индивидуальной производительности; $[T_{31}]$ – интервальная постоянная времени нарастания производительности труда (процесса «вработывания») с началом рабочей смены, которая за счет выбора степени μ позволяет учитывать реальную задержку в старте трудовой деятельности; $[T_{32}]$ – интервальная постоянная времени процесса потери работоспособности (спад производительности труда по экспоненциальному закону); $1/s$ – интегрирующее звено отражает результат выполнения человеком-оператором технологического задания по управлению системой в ручном режиме. В модель (1) включена интервальная постоянная времени $[T_{33}]$, отражающая форсирующие свойства [6] человека-оператора.

Номинальное (плановое) медианное значение k_{30} интервального коэффициента передачи $[k_{30}]$ в пересчете на один рабочий час при восьмичасовой рабочей смене составляет величину $k_{30} = N_k / 8 [\text{действий/час}]$, где N_k – плановое число выполняемых действий на рабочую смену, причем с тем, чтобы унифицировать модельное представление человека-оператора зададим N_k в относительной форме, положив его равным условным десяти единицам, так что $N_k = 10$. Таким образом, работоспособность задается в условных единицах (величинах) в течение рабочей смены.

При полной рабочей смене для постоянных времени выражения (1) можно записать: при $\mu = 3$ $[T_{31}] = [149; 248]$ $c = [0.041; 0.069]$ ч, $[T_{32}] = [2430; 4050]$ $c = [0.675; 1.125]$ ч, при этом значения постоянной $[T_{32}]$ получено экспериментально при $\nu = 6$, описывающее спад работоспособности на 30%; постоянная времени $[T_{33}]$, отражающая форсирующие свойства равной $[T_{33}] = [0; 396]$ $c = [0; 0.11]$ ч.

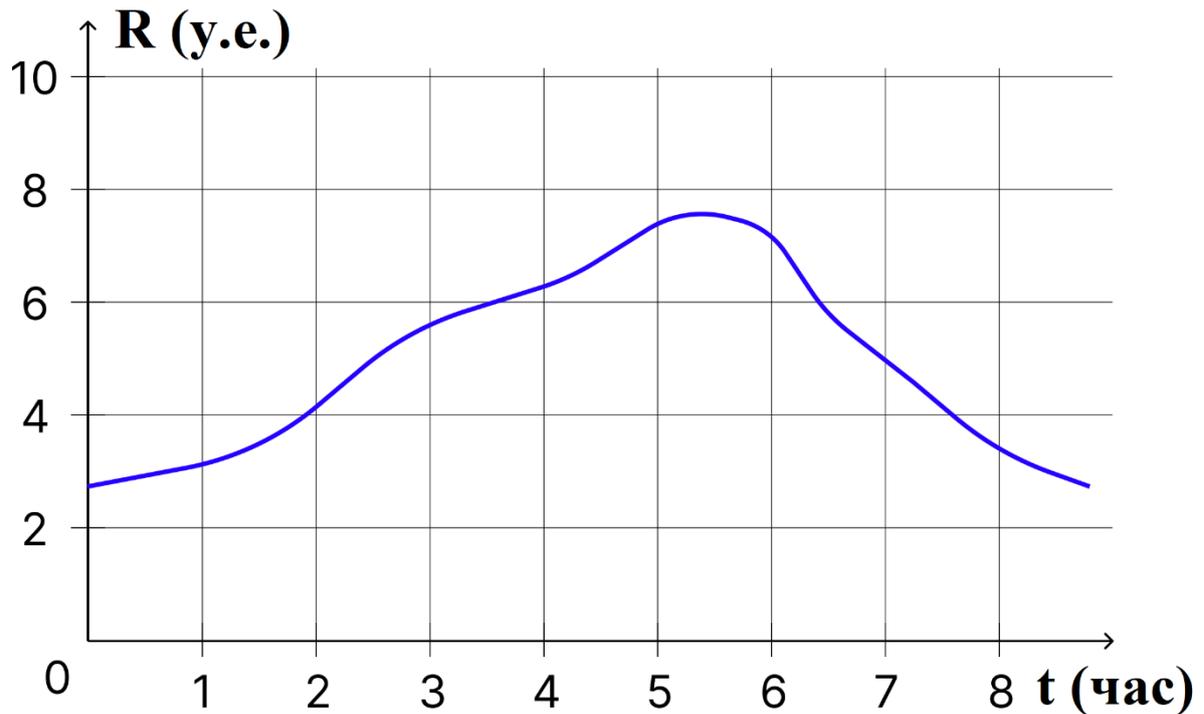


Рис. 3. Моделирование работоспособности R производственной деятельности человека-оператора в условных единицах (у.е.) за восьмичасовую рабочую смену (t, час) при заданных параметрах моделирования

Авторы полагают, что начало рабочей смены характеризуется определенным уровнем работоспособности, которая с течением времени начинает нарастать до максимального значения и достигнув его спадает в конце рабочей смены к уровню ниже первоначального значения.

В этой связи отметим, что участки от 0 до 3 часов и с 6 до 8 часов рабочей смены на графике требуют внимания с точки зрения распределения трудовых нагрузок при управлении робототехническим комплексом.

Результаты

Предложенная математическая модель, с помощью которой имеется возможность оценивать работоспособность человека-оператора, для того

чтобы учитывать вероятность возникновения ошибочных действий с его стороны в течение рабочей смены. Вероятность возникновения ошибочных действий оператора обратно-пропорциональна уровню его работоспособности. В результате предлагается в рамках возможного ограничивать (и минимизировать) участие человека в производственном процессе, а интервалы ручного управления технологическим модулем целесообразно вводить при его максимальной работоспособности.

Обсуждение

В идеальном варианте в современном гибком производстве человеческий фактор должен быть исключен из процессов.

Но в некоторых вариантах для повышения технологической гибкости, все же целесообразно вводить команды от человека-оператора в систему управления сборочно-комплектующей роботизированной технологической линией [7]. Для снижения вероятности ошибочных действий со стороны человека-оператора следует учитывать его работоспособность в течение рабочей смены. В этой связи полученные результаты считаем важными для развития технологической гибкости на производстве и в работах [8-16] подобные вопросы рассматриваются, так как они являются весьма актуальными в настоящее время.

Заключение

Получено моделирование работоспособности, на основе передаточной функции человека-оператора, которая позволяет учитывать индивидуальные параметры (прежде всего работоспособность), влияющие на результат его работы.

Повышение технологической гибкости обеспечивается за счет ввода в управление сборочно-комплектующей роботизированной линии команды от человека-оператора. Снижение вероятности ошибочных действий с его стороны следует учитывать с учетом его работоспособности в течение рабочей смены, так как вероятность ошибочных действий человека-оператора пропорциональна его работоспособности

Поскольку основная идея состоит в выявлении наиболее результативного по интенсивности интервала рабочей смены, в котором можно достичь предполагаемых результатов с наименьшей вероятностью возникновения ошибочных решений (действий).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и

- определения, номенклатура показателей. дата введения 01.01.1991
- [2] Козырев, Ю.Г. Гибкие производственные системы. Справочник: справочное издание. М.: КНОРУС, 2022. 364 с.
- [3] Медунецкий В.М., Медунецкий В.В., Соляник А.Р., Ярышева Е.П. Обеспечение гибкости роботизированных технологических систем для сборки малогабаритных изделий. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 1. С. 143–146. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-1-143-146
- [4] Рудаков Р.В., Сержантова М.В., В.И. Бойков. Идентификация звенных робототехнических манипуляторов. Международный научно-исследовательский журнал.2024. №1 (139). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.166> URL: research-journal.org/archive/1-139-2024-january/10.23670/IRJ.2024.139.166?ysclid=luv22eaelp531508955 (дата обращения 11.04.24)
- [5] Дударенко Н.А., Нуйя О.С., Сержантова М.В. Соленый С.В. Моделирование процесса вырождения технической системы управления высокотемпературными процессами с человеком-оператором в своем составе. Nuclear Physics and Engineering №14, issue 17, с. 566-570, 2023г doi:10.56304/s2079562923010232
- [6] Ушаков А.В., Сержантова М.В. Интервальная аддитивная кусочно-полиномиальная временная модель деятельности человека-оператора в квазистатической функциональной среде. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. №2., С.329-337
- [7] М.В. Пономаренко, Ю.С. Андреев. Автоматизированные системы управления производством с точки зрения гибких производственных систем. Современное машиностроение: Наука и образование; материалы 12й Международной конференции/ под.ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. Спб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. Стр 314-323
- [8] Пелевин Е.Е., Цудиков М.Б. Экономическая эффективность роботизации различных типов производства. Juvenisscientia 2017 №6. DOI: 10.15643/jscientia.2017.6.004
- [9] Teemu Tommila, Juhani Hirvonen, Lauri Jaakkola, Jyrki Peltoniemi, Jukka Pel-tola, Seppo Sierla & Kari Koskinen "Next generation of industrial automation Concepts and architecture of a component-based control system" ISBN 951-38-67269. URL: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2005/T2303.pdf> (дата обращения: 11.04.2024).
- [10] Larry T. (Tim) Ross, Stephen W. (Steve) Fardo, James Masterson, and Robert Towers «Robotics: Theory and Industrial Applications, 2nd

- Edition» Chapter2 Fundamentals of Robotics. 2011. ISBN: 978-1-60525-321-3.URL:https://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781605253213_ch02.pdf (дата обращения: 01.04.2024).
- [11] Gerhard Simonis. First robotized assembly line for multivalve cylinder heads in Europe. ABB Flexible Automation GmbH. ABB Review 8/1996. <https://library.e.abb.com/public/0aa4999a53625ccac1256ddd003470d3/28-33m213.pdf> (дата обращения: 02.04.2024)
- [12] Cai Yuyw, Gu Hao, Li Cheng, Liu Huashan. Easy industrial robot cell coordinates calibration with touch panel. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Volume 50, April 2018, pp. 276-285 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2017.10.004>
- [13] Lorenzo Fiorineschi, Francesco Saverio Frillici, Paolo Rissone. A Comparison of Classical TRIZ and OTSM-TRIZ in Dealing with Complex Problems, Procedia Engineering, Volume 131, 2015, pp. 86-94, ISSN 1877-7058, <doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.350>. [Accessed 9 april 2024].
- [14] Mark Sh. Levin, Modular System Design and Evaluation. Springer, 2015. P 473. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09876-0>
- [15] Yang Lin, Huan Zhao. Spindle configuration analysis and optimization considering the deformation in robotic machining applications - ScienceDirect <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.005>
- [16] Kevin L. Conrad, Panayiotis S. Shiakolas, T. C. Yih ROBOTIC CALIBRATION ISSUES: ACCURACY, REPEATABILITY AND CALIBRATION. URL: <http://mars.uta.edu/me5337/reference/calibration.pdf>(дата обращения: 04.04.2024)

M.V. Serzhantova, V.M. Medunetsky, C.M. Dyachenko

ROBOTIC PROCESS ASSEMBLY AND ASSEMBLY MODULE WITH THE ABILITY TO INPUT COMMANDS FROM A HUMAN OPERATOR

State University of Aerospace Instrumentation, Russia

Abstract

The paper considers an assembly and component robotic module with a transport and distribution system of rotary-circular type and presents a scheme of its operation. It is noted that it is possible to increase the technological flexibility of the considered robotic module by periodic introduction of commands from a human operator into its control system. The results of the research have shown that in order to reduce the probability of errors on the part of the human operator,

it is necessary to take into account his working capacity during the working shift. Due to the use of the proposed approach the productivity of the circular transportation and distribution system is increased

Key words: technological assembly line, assembly and component robotic module, technological flexibility, human-operator operability.

REFERENCES

- [1] GOST 26228-90. Flexible production systems. Terms and definitions, nomenclature of indicators. date of introduction 01.01.1991.
- [2] Kozyrev, Yu.G. Flexible production systems. Reference book: reference edition. M.: KNORUS, 2022. 364 c.
- [3] Medunetsky V.M., Medunetsky V.V., Solyanik A.R., Yarysheva E.P. Provision of flexibility of robotized technological systems for assembly of small-sized products. Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2021. T. 21, № 1. C. 143-146. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-1-143-146
- [4] R. V. Rudakov, M. V. Serzhantova, V. I. Boykov. Identification of n-link robotic manipulators. International research journal.2024. №1 (139). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.166> URL: research-journal.org/archive/1-139-2024-january/10.23670/IRJ.2024.139.166?ysclid=luv22eaelp531508955 (accessed 11.04.24)
- [5] Dudarenko N.A., Nuya O.S., Serzhantova M.V., Soleny S.V. Modeling of degeneration process of technical control system of high-temperature processes with a human operator in its composition. Nuclear Physics and Engineering No. 14, issue 17, pp. 566-570, 2023g doi:10.56304/s2079562923010232
- [6] Ushakov A.V., Serzhantova M.V. Interval additive piecewise polynomial time model of human operator activity in quasi-static functional environment. Nauchno-technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2015. T. 15. №2., C.329-337
- [7] M.V. Ponomarenko, Y.S. Andreev. Automated production control systems from the point of view of flexible production systems. Modern Engineering: Science and Education; Proceedings of the 12th International Conference/edited by A.N. Evgrafov. A.N. Evgrafov and A.A. Popovich. SPb: POLITEKH-PRESS, 2023. pp 314-323.
- [8] Pelevin E.E., Tsudikov M.B. Economical efficiency of robotization of different types of production. Juvenisscientia 2017 No. 6. DOI: 10.15643/jscientia.2017.6.004
- [9] Teemu Tommila, Juhani Hirvonen, Lauri Jaakkola, Jyrki Peltoniemi, Jukka Pel-tola, Seppo Sierla & Kari Koskinen "Next generation of industrial

- automation Concepts and architecture of a component-based control system"
 ISBN 951-38-67269. URL:
<https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2005/T2303.pdf> (accessed
 11.04.2024).
- [10] Larry T. (Tim) Ross, Stephen W. (Steve) Fardo, James Masterson, and Robert Towers "Robotics: Theory and Industrial Applications, 2nd Edition" Chapter2 Fundamentals of Robotics. 2011. ISBN: 978-1-60525-321-3. URL:https://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781605253213_ch02.pdf (accessed 01.04.2024).
- [11] Gerhard Simonis. First robotized assembly line for multivalve cylinder heads in Europe. ABB Flexible Automation GmbH. ABB Review 8/1996. <https://library.e.abb.com/public/0aa4999a53625ccac1256ddd003470d3/28-33m213.pdf> (дата обращения: 02.04.2024)
- [12] Cai Yuyw, Gu Hao, Li Cheng, Liu Huashan. Easy industrial robot cell coordinates calibration with touch panel. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Volume 50, April 2018, pp. 276-285 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2017.10.004>
- [13] Lorenzo Fiorineschi, Francesco Saverio Frillici, Paolo Rissone. A Comparison of Classical TRIZ and OTSM-TRIZ in Dealing with Complex Problems, Procedia Engineering, Volume 131, 2015, pp. 86-94, ISSN 1877-7058, doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.350. [Accessed April 9, 2024].
- [14] Mark Sh. Levin, Modular System Design and Evaluation. Springer, 2015. P 473. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09876-0>
- [15] Yang Lin, Huan Zhao. Spindle configuration analysis and optimization considering the deformation in robotic machining applications - ScienceDirect <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.005>
- [16] Kevin L. Conrad, Panayiotis S. Shiakolas, T. C. Yih ROBOTIC CALIBRATION ISSUES: ACCURACY, REPEATABILITY AND CALIBRATION. URL:
<http://mars.uta.edu/me5337/reference/calibration.pdf>(date of access:
 04.04.2024)