
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

BRIEF PAPERS

УДК 681.5; 621.83; 621.941
DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-2-184-186

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГИБКОСТИ СБОРОЧНО-КОМПЛЕКТУЮЩЕГО МОДУЛЯ ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ КОМАНД ОТ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

М. В. Сержанто娃, О. С. Нуя*

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

* olga.nuya@ya.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность периодического участия человека-оператора в системе управления сборочно-комплектующим роботизированный модулем. Отмечается, что вероятность возникновения ошибочных команд от оператора определяется уровнем его работоспособности. Приведена математическая модель для оценки работоспособности человека-оператора в течение рабочей смены.

Ключевые слова: технологическая линия, роботизированный сборочно-комплектующий модуль, технологическая гибкость, уровень работоспособности человека-оператора

Ссылка для цитирования: Сержанто娃 М. В., Нуя О. С. Повышение технологической гибкости сборочно-комплектующего модуля за счет введения команд от человека-оператора // Изв. вузов. Приборостроение. 2025. Т. 68, № 2. С. 184–186. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-2-184-186.

INCREASING THE TECHNOLOGICAL FLEXIBILITY OF THE COMPONENT ASSEMBLY MODULE BY ENTERING COMMANDS FROM A HUMAN OPERATOR

M. V. Serzhantova, O. S. Nuya*

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

* olga.nuya@ya.ru

Abstract. The possibility of periodic participation of a human operator in the control system of the component assembly robotic module is considered. It is noted that the probability of occurrence of erroneous commands from the operator is determined by the level of his performance. A mathematical model is given for assessing the performance of a human operator during a work shift.

Keywords: technological line, component assembly robotic module, technological flexibility, level of human operator performance

For citation: Serzhantova M. V., Nuya O. S. Increasing the technological flexibility of the component assembly module by entering commands from a human operator. *Journal of Instrument Engineering*. 2025. Vol. 68, N 2. P. 184–186 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-2-184-186.

Переход производства на новую номенклатуру изделий может быть осуществлен путем перепрограммирования роботов с учетом требуемых дополнительных расходов и затраченного времени на подготовку выпуска изделий другого наименования*.

* ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей. Дата введения 01.01.1991.

Определенная компоновка оборудования обеспечивает технологическую гибкость, что позволяет повысить производительность и эффективность. В качестве примера выбран технологический сборочно-комплектующий модуль [1]. Данный модуль состоит из трех роботов-манипуляторов и транспортно-распределительной системы карусельного типа, в состав которой входят поворотные столы (верхний и нижний), обладающие возможностью дискретного вращения относительно своей оси по часовой стрелке и против нее. Верхний круговой стол имеет ряд проемов для доступа к нижнему столу. Траектории движения роботов-манипуляторов и их действия, а также углы поворота подвижных частей столов определяются командами специализированного блока управления, осуществляющего формирование и распределение потока команд.

Однако в некоторых вариантах дополнительно повысить технологическую гибкость можно за счет участия человека-оператора (ЧО) в системе управления технологическим процессом, которое обосновывается экономической целесообразностью и вариативностью конкретного производства.

В частично ручном режиме управления необходимо учитывать уровень работоспособности человека в течение рабочей смены, так как вероятность возникновения ошибочных действий (команд) обратно пропорциональна уровню работоспособности. С помощью математического моделирования можно выявить характерные интервалы работоспособности ЧО.

С этой целью формализуем действия ЧО с помощью инструментария передаточных функций и моделей аппарата пространства состояния [2]. Предположим наличие форсирующих свойств у ЧО и сформируем математическое описание его деятельности как специалиста

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

где $[k_3]$ — персонализированный коэффициент производительности ЧО; $[T_{31}]$ — индивидуальная постоянная времени, описывающая включение в производственный процесс ЧО с началом рабочей смены; μ характеризует нарастание работоспособности в течение смены, ν — спад; $[T_{32}]$ — персонализированная постоянная времени спада работоспособности; $1/s$ — интегрирующее звено, отражающее результат выполнения ЧО технологического задания по управлению системой в ручном режиме; $[T_{33}]$ — персонализированная постоянная времени для режима усиленного темпа работы ЧО [3].

Авторы выявили по зависимости (1), что начало рабочей смены характеризуется определенным уровнем работоспособности, которая с течением времени начинает нарастать до максимального значения, а далее, достигнув максимального значения, данный показатель спадает и в конце рабочей смены становится ниже первоначального значения. Это необходимо учитывать, так как возможность ошибочных действий ЧО обратно пропорциональна уровню его работоспособности.

Процесс изменения уровня работоспособности можно представить следующим образом:

$$\eta(w) = N(w)\chi(w), \quad (2)$$

где $N(w)$ — оценочная матрица системы „ЧО–технологический процесс“ размерностью $m \times m$, в которой переменная соответствует времени (в зависимости от постановки задачи — непрерывному или дискретному); $\eta(w)$, $\chi(w)$ — m -мерные векторы; отметим, что возможно $\chi(w) = \chi(0)$.

Для наблюдения за изменением работоспособности системы „ЧО–технологический процесс“ применим функционалы J_R [2], построенные на сингулярных числах a_j ($j = \overline{1, m}$) оценочной матрицы N „ЧО–технологический процесс“, так что

$$\sigma_a\{N\} = \{a_j = |\mu_j^{1/2}\}|; \mu: \det(\mu I - N^T N) = 0; j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

и удовлетворяющие соотношению

$$J_R = a_v/a_1; v = \overline{m, 1}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет оценивать работоспособность в режиме реального времени благодаря возможности наблюдения за изменениями значений оценочной матрицы. Отметим, что J_R определены на интервале 0–1, что делает их весьма удобным инструментом для оценки.

Идеальная синхронная работа ЧО с данной технической системой в графической интерпретации может быть представлена эллипсом в трехмерном пространстве, то есть окружностью в плоскости. При нарушении синхронности взаимодействия ЧО с технической системой наблюдается сокращение размерности эллипса, что приводит к вырождению его в овал и далее — в прямую, а по достижении формы точки система будет разрушена (не будет функционировать).

Таким образом, повысить технологическую гибкость возможно за счет ввода команд от ЧО в систему управления сборочно-комплектующей роботизированной линии. При этом следует учитывать, что вероятность ошибочных действий человека зависит от его работоспособности во время рабочей смены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев Ю. Г. Гибкие производственные системы. Справочник. М.: КНОРУС, 2022. 364 с.
2. Сержантова М. В., Дударенко Н. А., Нуя О. С., Соленый С. В. Моделирование процесса вырождения технической системы управления высокотемпературными процессами с человеком-оператором в своем составе // Ядерная физика и инжениринг. 2023. Т. 14, № 6. С. 566–570. DOI:10.56304/s2079562923010232.
3. 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Майя Вячеславовна Сержантова** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра электромеханики и робототехники; доцент; E-mail: xyz43210@mail.ru
- Ольга Святославовна Нуя** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра управления в технических системах; доцент; E-mail: olga.nuyya@ya.ru

Поступила в редакцию 22.06.24; одобрена после рецензирования 26.06.24; принята к публикации 25.12.24.

REFERENCES

1. Kozyrev Yu.G. *Gibkiye proizvodstvennyye sistemy. Spravochnik* (Flexible manufacturing systems. Handbook), Moscow, 2022, 364 p. (in Russ.)
2. Serzhantova M.V., Dudarenko N.A., Nuya O.S., Solony S.V. *Nuclear Physics and Engineering*, 2023, no. 6(14), pp. 566–570, <https://doi.org/10.56304/S2079562923010232>. (In Russ.)
3. Ushakov A.V., Serzhantova M.V. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, no. 2(15), pp. 329–337. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- Maya V. Serzhantova** — PhD; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Electromechanics and Robotics; Associate Professor; E-mail: xyz43210@mail.ru
- Olga S. Nuya** — PhD; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Control in Technical Systems; Associate Professor; E-mail: olga.nuyya@ya.ru

Received 22.06.24; approved after reviewing 26.06.24; accepted for publication 25.12.24.