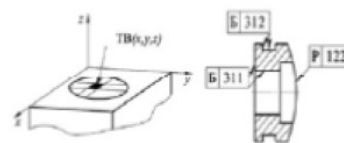


Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений



Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. №2 (152). С.41-48.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №2 (152). P.41-48.

Научная статья
УДК 629.735
doi: 10.30987/2223-4608-2024-41-48

Роботизация в авиастроении

Виталий Даржаевич Цыденов, начальник конструкторского бюро
АО «Улан-Удэнский авиационный завод», Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия
cvd11316@uuaz.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1098-4852>

Аннотация. Рассмотрены некоторые примеры применения роботизированных технологических систем и комплексов (РТС и РТК) в авиастроении. Рассмотрена роботизированная ячейка контактной точечной сварки, основной состав которого это – промышленный робот (ПР), сварочные клещи, модуль линейного перемещения ПР, кантователь. Здесь ПР выполняет сварку, в качестве рабочего органа оборудован сварочными клещами. Кантователь, оснащенный шаговым двигателем производит поворот панели вокруг оси и придает свариваемой детали необходимое положение в процессе сварки. Перемещение ПР также осуществляется за счет модуля линейного перемещения. Рассмотрена роботизация производства жгутов, с применением автоматических плазов и коллаборативных роботов, которые перемещаясь вдоль специализированных плазов, с помощью модуля линейного перемещения, осуществляют расстановку держателей на плаз и вязку проводов в жгуты. После завершения операции укладывают готовые жгуты в бункер-накопитель. Рассмотрен роботизированный технологический комплекс изготовления деталей типа «нервюра», в составе которого ПР, оснащенный вакуумным захватом, технологическое оборудование – пресс вырубной и гибочный. Технологический процесс состоит из двух этапов: вырубка и гибка. Вырубленные заготовки выдуваются из пресса на приемный лоток. ПР выполняет подачу заготовок в рабочую зону технологического оборудования и укладку в соответствующий накопитель. Представлены 3D-модели роботизированных участков, перечислен их состав. В заключении установлена важность анализа технологического процесса, которая должна определить целесообразность роботизации. Представлен алгоритм анализа технологического процесса. Установлено, что внедрение роботизации в определенных технологических процессах позволяет снизить влияние опасных производственных факторов.

Ключевые слова: роботизация, промышленный робот (ПР), авиастроение, производство жгутов, заготовительно-штамповочное производство, контактно-точечная сварка

Для цитирования: Цыденов В.Д. Роботизация в авиастроении // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 2 (152). С. 41–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-41-48

Robotics in the aircraft industry

Vitaly D. Tsydenov, Head of the Design Bureau
JSC Ulan-Ude Aviation Plant, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Russia
cvd11316@uuaz.ru

Abstract. Some cases of robotized systems and complexes (RS and RC) in the aircraft industry are considered. A robotic cell for resistance spot welding is viewed, the main components of which are an industrial robot (IR), welding guns, a linear displacement module of IR, an inverting unit. Here the IR performs welding, it is equipped with welding guns as a hand. An inverting unit equipped with a stepper motor rotates the panel around the axis and sets the part to be welded within the whole welding process. The movement of the IR is also carried out due to the linear displacement module. The robotization of harnesses production is viewed, using automatic lofts and collaborative robots, which, moving along specialized lofts, with the help of a

linear displacement module, install holders on the loft and ties wires into harnesses. After the operation is completed, made-up harness is put into a storage hopper. A robotized complex (RC) for manufacturing parts of the «rib» type is studied. It includes a machine equipped with a vacuum gripper, technological equipment, consisting of a cutting machine and a bending press. The technological process has two stages: cutting and bending. The cut blanks are blown out of the press onto the receiving tray. The IR performs feeding of blanks into the working area of the technological equipment and laying in the appropriate storage unit. 3D models of robotized sites are presented, their components are listed. In conclusion, the importance of analyzing the process operation is proved, when the feasibility of robotization is evident. An algorithm for analyzing the process operation is presented. It has been understood that the introduction of robotics in certain technological processes reduces the impact of hazardous production factors.

Keywords: robotization, industrial robot (IR), aircraft engineering, production of harnesses, blank-stamping production, resistance spot welding

For citation: Tsydenov V.D. Robotronics in the aircraft industry / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 2 (152). P. 41–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-41-48

Введение

Развитие и распространение роботизации сказывается на различных отраслях и авиастроение не является исключением. Интерес в применении промышленных роботов (ПР) в авиастроении появился в последние десятилетия.

Для увеличения конкурентоспособности, производительности труда стабильности и качества продукции, а также покрытия дефицита производственного персонала авиационной промышленности необходимо проводить роботизацию технологических процессов (ТП). Кроме того, роботизация может решить проблему низкой производительности труда, повысить качество производимой продукции [1].

Проектирование промышленных роботов представляет собой весьма многостороннюю проблему. Необходимо учитывать требования применения проектируемого робота к определенному классу технологических операций [2].

Авиационная промышленность характеризуется небольшими объемами выпускаемой продукции, что накладывает ограничения для внедрения роботизированных технологических систем и комплексов (РТС и РТК), т. к. в условиях серийного производства не всегда целесообразно проводить роботизацию ТП. Поэтому перед внедрением РТС и РТК необходимо проводить аудит производства, который определит узкие места на производстве и целесообразность роботизации.

В статье приведены некоторые примеры применения РТС и РТК в авиастроении.

Роботизация контактной точечной сварки

При изготовлении панелей летательных аппаратов из листовых материалов находит широкое применение контактная точечная сварка, т. к. обладает рядом преимуществ: возможность получения гладкой поверхности; высокая работоспособность при различных нагрузках.

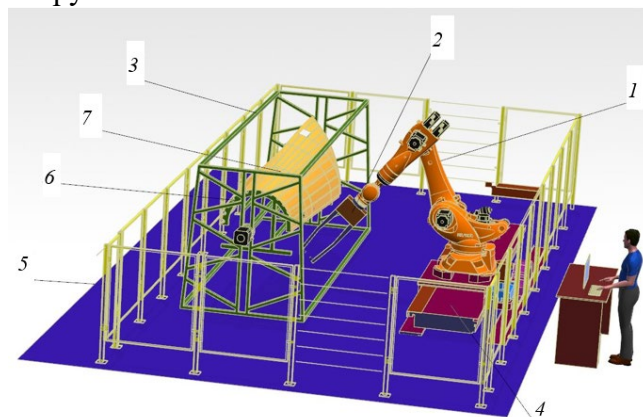


Рис. 1. Роботизированная ячейка контактной точечной сварки

Fig. 1. A robotic cell for resistance spot welding

Точечная сварка – это вид контактной сварки, при котором сваривание деталей происходит по отдельным участкам касания несколькими точками с определённым шагом [3].

Роботизированная ячейка контактной точечной сварки (рис. 1) состоит из промышленного робота 1, сварочных клещей 2, кантователя 3, модуля линейного перемещения робота 4, защитного ограждения с фотобарьерами 5, сменных ложементов 6 и свариваемых деталей 7. На этом участке происходит сварка продольного силового набора с заданным шагом.

После сварки первого ряда, робот перемещается к следующему. Перемещение сварочных клещей вдоль ряда осуществляется как за счет перемещения манипулятора, так и за счет перемещения линейного модуля.

Кантователь, оснащенный шаговым двигателем, производит поворот панели вокруг оси, придавая панели необходимое положение в процессе сварки. Таким образом, робот, перемещаясь от ряда к ряду, производит сварку продольного силового набора всей панели.

Недостатком компоновки роботизированной ячейки, показанной на рис. 1 является то, что при сварке панелей из алюминиевых сплавов требуются большие сварочные токи и усилия сжатия электродов, они зависят от толщины свариваемых деталей, марки материала. Большинство сварочных клещей представленных на рынке производителей не обеспечивают вышеперечисленные условия. Поэтому данная компоновка подходит для сварки панелей, требующих небольших сварочных токов и усилий сжатия электродов.

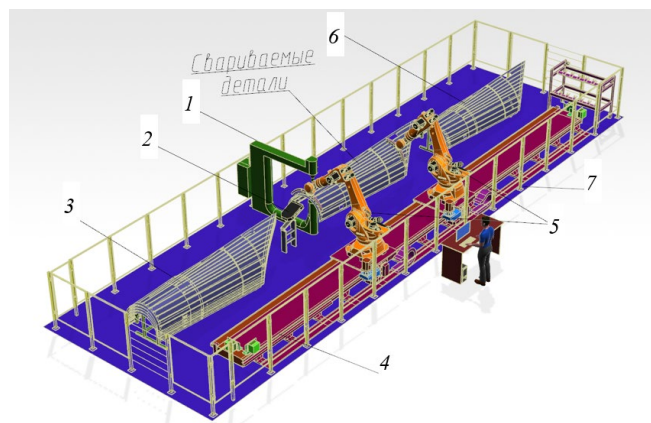


Рис. 2. Роботизированный технологический комплекс сварки панелей

Fig. 2. Robotized complex of panel welding

Стационарные машины для контактной точечной сварки имеют ряд преимуществ по сравнению со сварочными клещами, такие как: большой сварочный ток и усилие сжатия электродов.

Роботизированный технологический комплекс сварки панелей, в составе которого – стационарная машина, представлен на рис. 2. Состав РТК: 1 – стационарная машина для контактной точечной сварки; 2 – техническое зрение; 3 – стол для подачи свариваемых деталей;

4 – модуль линейного перемещения с двумя независимыми платформами; 5 – промышленный робот с захватным устройством; 6 – стол для готовых деталей; 7 – защитное ограждение с фотобарьерами.

Здесь два ПР, работая синхронно, перемещают свариваемую деталь на заданный, конструкторской документацией, шаг. Для устранения перекоса и обеспечения точности позиционирования панели в процессе сварки предусмотрено техническое зрение. Захват детали осуществляется с помощью вакуумных присосок.

Модуль линейного перемещения с двумя независимыми платформами отвечает за перемещение ПР.

При открытии сервисной двери или пересечении фотобарьеров ПР в этой зоне останавливается. При входе оператора в рабочую зону система безопасности ограничивает возможность перемещения робота до тех пор, пока оператор не выйдет и не нажмет кнопку подтверждения на пульте управления.

Роботизация производства жгутов

В настоящее время процесс изготовления жгутов в авиастроении представляет собой неавтоматизированное производство. Как и много лет назад раскладка и вязка жгутов производится вручную.

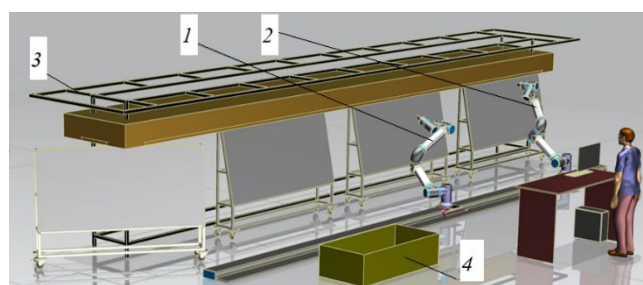


Рис. 3. Роботизированный участок изготовления жгутов:

1 – коллаборативный робот для вязки проводов в жгуты; 2 – коллаборативный робот для раскладки; 3 – специализированный плаз; 4 – бункер-накопитель

Fig. 3. Robotized site for the manufacture of harness:

1 – a collaborative robot for tying wires into bundles; 2 – a collaborative robot for laying out; 3 – a specialized loft, 4 – a storage hopper

Схема роботизированного участка изготовления жгутов представлена на рис. 3. Коллаборативный робот 2 (далее кобот)

производит расстановку держателей на плаз и установку каждой заготовки проводов в нужные держатели. Заготовка за заготовкой кобот 2 делает раскладку [4], затем специализированный плаз перемещается к коботу 1, который осуществляет вязку проводов в жгуты. Плаз представляет собой автоматическую линию с плазмами на тележках (рис. 4), перемещаемых электрическим приводом по полу цеха [5].



Рис. 4. Автоматическая линия сборки жгутов с плазмами на тележках

Fig. 4. An automatic assembly line for harnesses with mould lofts on trolleys

После формирования жгутов, кобот 1 снимает готовые жгуты с плаза и укладывает в бункер-накопитель, откуда поступает на склад готовой продукции. Особенностью коботов является то, что они могут перемещаться вдоль автоматической линии сборки жгутов модулем линейного перемещения.

В целом, производство жгутов в авиастроении представляет огромный потенциал для автоматизации, роботизации процессов.

Роботизация заготовительно-штамповочного производства

Особенностью листовой штамповки является незначительное машинное время, затрачиваемое на обработку одной заготовки. Вспомогательными операциями являются операции транспортирования, загрузки и выгрузки штучных заготовок и полуфабрикатов в технологическом оборудовании. Именно они и

определяют в основном производительность листоштамповочных комплексов [6].

РТК (рис. 5 и рис. 6) укомплектован промышленным роботом KUKA установленным на пьедестале между двумя прессами, накопителем для заготовок с щеточно-воздушным разделителем листов, накопителем для вырубленных деталей, накопителями для штампованных деталей, системой управления и системой безопасности. Робот оборудован двухсекционным вакуумным захватом: секция с вакуумными присосками и секция с губчатой подушкой, что позволяет производить захват заготовок как за плоские поверхности (нервиюры), так и за неровные (рифленки).

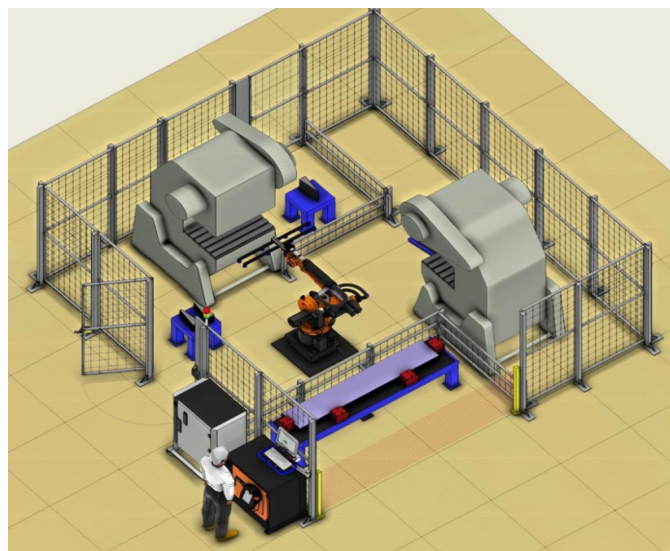


Рис. 5. Роботизированный технологический комплекс изготовления деталей типа «нервиюры»

Fig. 5. Robotized complex for manufacturing parts of the «rib» type

В рассматриваемом РТК технологический процесс состоит из двух этапов: вырубка и гибка. На первом этапе оператор укладывает заготовки в накопитель в рабочей зоне РТК. Промышленный робот с помощью вакуумного захвата снимает заготовку с накопителя. Для облегчения снятия листа с накопителя, а также для исключения возможности взятия слипшихся листов в накопителе установлены щеточно-воздушные разделители.

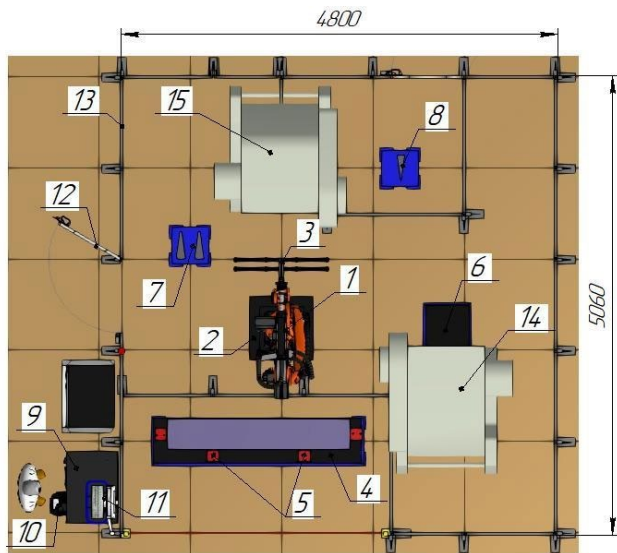


Рис. 6. Состав роботизированного технологического комплекса:

1 – промышленный робот KUKA; 2 – пьедестал для робота; 3 – вакуумный захват; 4 – контейнер с заготовками; 5 – щеточно-воздушный разделитель; 6 – лоток для вырубленных деталей; 7 – накопитель для вырубленных деталей; 8 – накопитель для штампованных деталей; 9 – контроллер ПР; 10 – пульт управления ПР; 11 – стойка управления РТК; 12 – дверь; 13 – защитные ограждения; 14 – пресс вырубной; 15 – пресс гибочный

Fig. 6. Components of a robotized complex:

1 – industrial robot KUKA; 2 – mounting pedestal for the robot; 3 – vacuum gripper; 4 – container with blanks; 5 – brush-air separator; 6 – tray for cut blanks; 7 – queue for cut blanks; 8 – queue for formed parts; 9 – IR controller; 10 – IR control panel; 11 – RC control cubicle; 12 – door; 13 – protective barriers; 14 – cutting machine; 15 – bending press

Далее ПР устанавливает заготовку в вырубной пресс. Вырубной пресс совершает цикл вырубки. Вырубленные заготовки выдуваются из прессы на приемный лоток. Далее ПР продвигает лист заготовки в рабочую зону прессы и цикл вырубки повторяется до окончания листа заготовки. ПР перемещает отход листа в контейнер, а вырубленные детали из лотка в накопитель. Для определения местоположения и ориентации вырубленных деталей в лотке применяется техническое зрение.

Далее цикл вырубки повторяется до заполнения накопителя вырубленных деталей или выполнения программы выпуска.

На втором этапе ПР с помощью вакуумного захвата снимает из накопителя заготовку и устанавливает в гибочный пресс. Пресс осуществляет цикл прессования. Затем ПР снимает готовую деталь с прессы и укладывает ее в соответствующий накопитель. Далее цикл гибки продолжается до окончания заготовок для гибки в накопителе. Во время осуществления цикла гибки оператор пополняет накопитель с заготовками для вырубного прессы.

Циклограмма работы ПР по обслуживанию прессы с учетом времени, необходимого для взятия заготовки и штампованной детали, времени на перенос и опускание заготовок и штампованных деталей представлена на рис. 7.

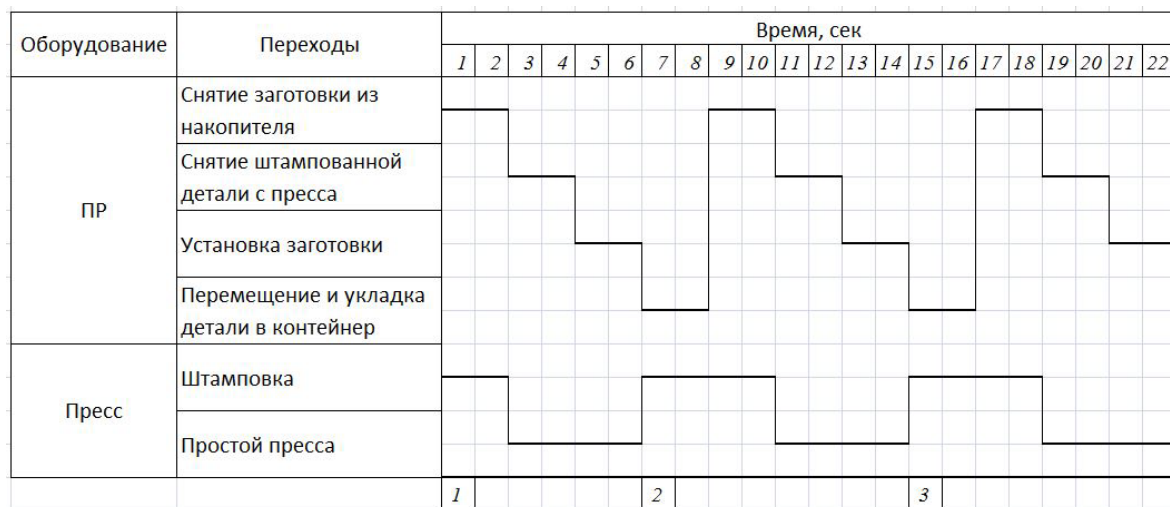


Рис. 7. Циклограмма работы робота по обслуживанию прессы

Fig. 7. Work cycle maintenance work of the robot in pressing

Заключение

ПР играют большую роль в техническом перевооружении авиационных предприятий, на базе которых можно автоматизировать, роботизировать существующие технологические процессы.

Анализ технологического процесса (ТП) является одним из наиболее ответственных этапов, от качества выполнения которого в значительной степени зависит эффективность разрабатываемого комплекса [7]. Алгоритм анализа ТП представлен на рис. 8.

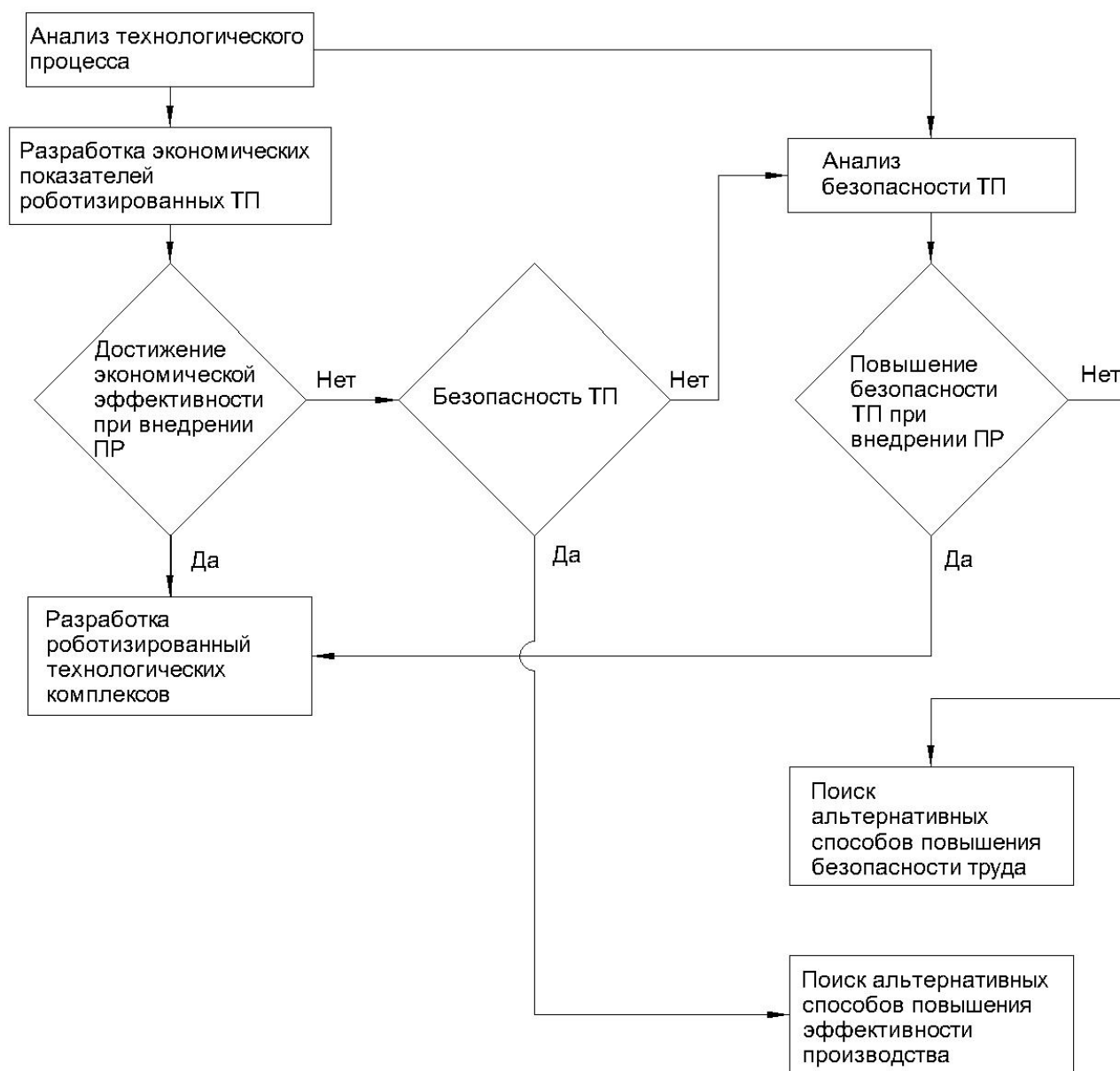


Рис. 8. Алгоритм анализа технологического процесса

Fig. 8. Algorithm of process operation analysis

В условиях серийного производства не всегда получается достичь экономического эффекта от внедрения РТС и РТК, поэтому ключевым фактором внедрения роботизации в

производство может послужить повышение безопасности труда.

При наличии опасных для жизни и вредных для здоровья условий труда решение о

роботизации принимают на основании предварительного отбора независимо от результата технико-экономического обоснования [8].

В работах [9, 10] подтверждается, что одной из причин внедрения роботизации является снижение влияния опасных производственных факторов.

В целом, внедрение роботизации зависит от множества факторов:

- необходимость решения проблем текущей и нехватки кадров;
- необходимость повышения качества продукции;
- возможность технологического перевооружения с минимальными объемами перепланировок производственных помещений.

Понимание и оценка этих факторов являются важным этапом в процессе решения вопроса о внедрении роботизации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Эфендиева А.А., Хаджиева М.И., Канокова М.А.** Исследование влияния процесса массовой роботизации и автоматизации производства на структуру трудовых ресурсов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 6 (92). С. 186–193.
2. **Колмаков Л.А., Однопалов А.Д., Шарапановская М.С., Шелест Ю.А.** Применение роботов в аэрокосмической промышленности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2020. Т. 1. С. 374–376.
3. **Контактная** точечная и шовная сварка, её определение и сущность, схемы, технология и оборудование // [Электронный ресурс]. URL: <https://taina-svarki.ru/sposoby-svarki/kontaktnaya-svarka/kontaktnaya-tochechnaya-i-shovnaya-svarka-shemy-tehnologiya-oborudovanie.php>. (дата обращения 16.11.2023 г.)
4. **Сидоров С., Полторыхин Д.** Инновационный подход к роботизации производства кабельных сборок и жгутов // Технологии в электронной промышленности. 2019. № 1. С. 64–69.
5. **Еремин А.** Жгутовые столы: старые проблемы и новые возможности // Технологии в электронной промышленности. 2020. № 6. С. 18–22.
6. **Автоматизированное** проектирование и управление технологическими процессами ОМД: электронное учебное пособие к курсовому проектированию [Электронный ресурс] / В. А. Михеев, Д. В. Савин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Самарский государственный

аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет).

Самара. 2011. 8 с. 1 CD-ROM. Системные требования: ПК с частотой ЦП от 800 МГц и выше; Windows XP и выше; дисковод CD-ROM.

7. **Евтеева Е.В.** Применение мехатронных средств в промышленности // Вестник Волжского университета им В.Н. Татищева. 2011. № 17. С. 78–85.

8. **Р 50-54-85-88.** Рекомендации. Проектирование роботизированных технологических процессов. Всесоюзный научно-исследовательский институт по нормализации в машиностроении (ВНИИИМАШ). М. 1988. 26 с.

9. **Стаханова Я.А., Кутузова А.В., Гусев А.Д.** Повышение и анализ безопасности труда в процессах заготовительного производства в машиностроении // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 3. С. 627–631.

10. **Пикалов А.А.** Применение роботизированных систем при сборке авиационных конструкций, содержащих смешанные пакеты КМУ-Ti-Al // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. том 16. №1(5). С. 1550–1556.

REFERENCES

1. Efendieva A.A., Khadzhieva M.I., Kanyukova M.A. The influence of the process of mass robotization and automation of production on the structure of labor resources // Izvestiya of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2019, no. 6 (92), pp. 186–193.
2. Kolmakov L.A., Odnopalov A.D., Sharapanovskaya M.S., Shelest Yu.A. Application of robots in the aerospace industry // Actual problems of aviation and cosmonautics, 2020, vol. 1, pp. 374–376.
3. Resistance spot and seam welding, its definition and essence, schemes, technology and equipment // [Electronic resource]. URL: <https://taina-svarki.ru/sposoby-svarki/kontaktnaya-svarka/kontaktnaya-tochechnaya-i-sho-vnaya-svarka-shemy-tehnologiya-oborudovanie.php>. (date of access 16.11.2023)
4. Sidorov S., Poltarykhin D. An innovative approach to robotization of cable management and wiring harness production // Technologies in the electronic industry, 2019, no. 1, pp. 64–69.
5. Eremin A. Harness: old problems and new opportunities // Technologies in the electronic industry, 2020, No. 6, pp. 18–22.

6. Computer-aided design and management of MF (metal forming) technological / processes: an electronic textbook for course design [Electronic resource] / V. A. Mikheev, D. V. Savin; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (National Research University). Samara. 2011. 8 p. 1 CD-ROM. System requirements: PC with a CPU frequency of 800 MHz and above; Windows XP and above; CD-ROM drive.

7. Evteeva E.V. Application of mechatronic devices in industry // Bulletin of the V.N. Tatishchev Volga State University, 2011, no. 17, pp. 78–85.

8. R 50-54-85-88. Recommendations. Design of robotic technological processes. All-Union Scientific Research Institute for Normalization in Mechanical Engineering (VNIINMASH). M., 1988, 26 p.

9. Stakhanova Ya.A., Kutuzova A.V., Gusev A.D. Improvement and analysis of labor safety in the processes of procurement production in mechanical engineering // Izvestiya TulSU. Technical sciences, 2019, Issue 3, pp. 627–631.

10. Pikalov A.A. Application of robotic systems in the assembly of aircraft structures containing mixed CMU-Ti-Al packages // Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014, vol. 16, no. 1(5), pp. 1550–1556.

Статья поступила в редакцию 20.12.2023; одобрена после рецензирования 09.01.2024; принята к публикации 15.01.2024.

The article was submitted 20.12.2023; approved after reviewing 09.01.2024; assepted for publication 15.01.2024.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Вёрстка Н.А. Лукашов. Редактор Е.В. Лукашова. Технический редактор Н.А. Лукашов.

Сдано в набор 17.02.2024. Выход в свет 28.02.2024.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» 241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16