

ЗАДАЧА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Фоминых Д.С., Кушников В.А.

*Институт проблем точной механики и управления РАН,
Россия, г. Саратов, ул. Рабочая д.24
dm_fominyh@mail.ru, iptmuran@san.ru,*

Резчиков А.Ф.

*Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65*

Аннотация: В статье рассмотрена задача по минимизации вероятности возникновения аварийных ситуаций при сварке роботизированными технологическими комплексами. Разработаны модели и алгоритмы, позволяющие определить критические сочетания событий, приводящих к этим ситуациям. Вероятность наступления данных сочетаний определяется путем решения системы уравнений Колмогорова-Чепмена. Внедрение разработанного математического обеспечения позволит повысить безопасность функционирования роботизированных комплексов и снизить ущерб от аварийных простоев.

Ключевые слова: роботизированный технологический комплекс; вероятность аварийной ситуации; управление процессом сварки; критическое сочетание событий; математическая модель.

Введение

Одним из приоритетных направлений любого промышленного предприятия является обеспечение безопасности в ходе технологического процесса. Современные РТК оснащены системами безопасности, соответствующими международному стандарту ISO 10218-1:2011 «Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots». Однако в этих системах отсутствует контур управления, позволяющий снизить вероятность аварии с учетом различных факторов, оказывающих влияние на технологический процесс. Это подчеркивает актуальность настоящей статьи, посвященной разработке моделей и алгоритмов минимизации вероятности возникновения аварийных ситуаций при сварке РТК.

Математические модели и алгоритмы решения задачи

Решение поставленной задачи осложнено необходимостью разработки сложной динамической модели, учитывающей большое число количественных и качественных характеристики технологического процесса, а также из-за неопределенности параметров модели на временном отрезке. Поэтому в основу алгоритма положено подтвержденное практикой утверждение, согласно которому для снижения вероятности аварии достаточно разработать и реализовать план мероприятий, выступающих в качестве управляющих воздействий [1–2].

На основе анализа типовых аварийных ситуаций, возникающих в процессе сварки в РТК, разработан план мероприятий по минимизации вероятности их возникновения. Этот план представлен в виде дерева, в котором вершины – действия плана, а дуги определяют последовательность их реализации и взаимосвязь. Фрагмент такого плана мероприятий приведен на рис. 1.

Таким образом, поставленная задача сводится к поиску таких действий персонала, при которых вероятность невыполнения плана будет сведена к минимуму.

Для оценки вероятности невыполнения плана необходимо определить минимальные сечения [3] графа мероприятий. Элементы этих сечений соответствуют мероприятиям, невыполнение которых приводит к аварийной ситуации. Минимальные сечения классифицируются по количеству элементов, входящих в их состав, на одноэлементные ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_{11}, T_{12}$) двухэлементные ($T_{35}-T_{36}, T_{39}-T_{40}$), трехэлементные ($T_{24}-T_{25}-T_{26}, T_{21}-T_{22}-T_{23}$), четырехэлементные ($T_{35}-T_{36}-T_{41}-T_{42}, T_{17}-T_{18}-T_{39}-T_{40}$). Данные сечения соответствуют критическим сочетаниям событий, приводящим к аварийной ситуации.

Для каждого сечения строится граф состояний, в соответствии с которым составляется система дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена [3]. Из решения этой системы определяется вероятность невыполнения плана. На рис. 2 приведен пример графа состояний для трехэлементного сечения $T_{24}-T_{25}-T_{26}$.

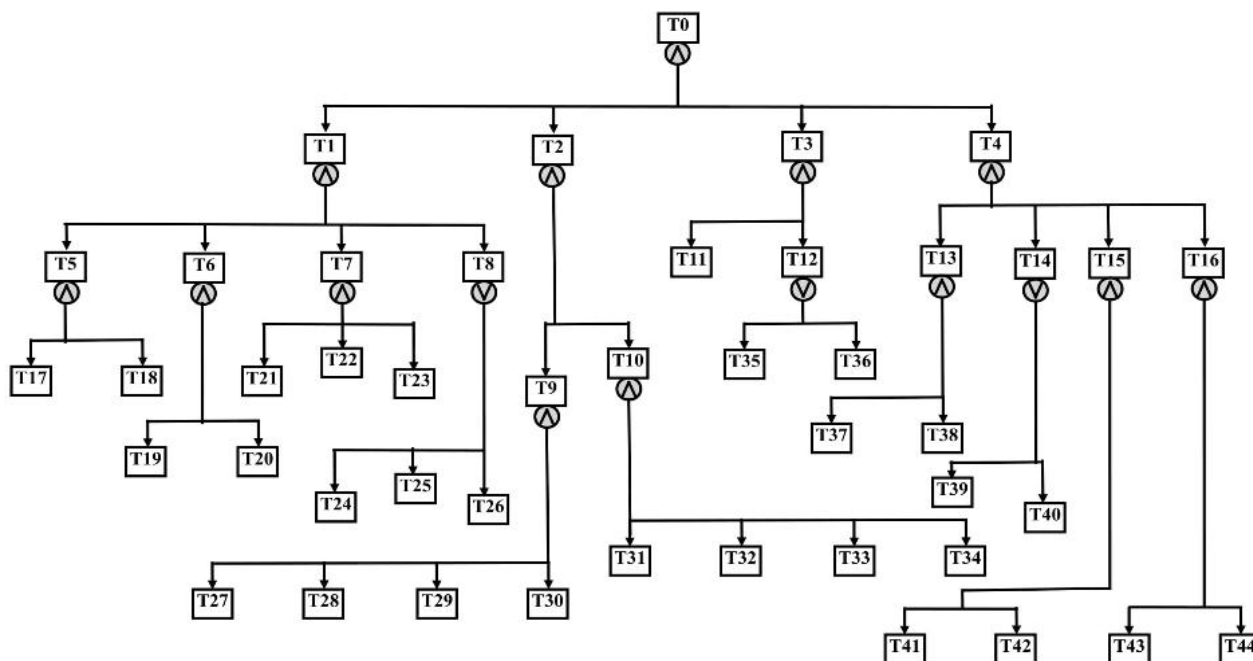


Рис. 1. Фрагмент графа плана мероприятий по снижению аварийности процесса сварки в РТК:

T0 – снижение аварийности при работе роботизированных комплексов; T1 – обеспечение работоспособности аварийного контура; T2 – обеспечение безопасной эксплуатации РТК персоналом; T3 – обеспечение исправной работы программ; T4 – обеспечение безопасного подключения электрооборудования; T5 – исправное функционирование защитных фотобарьеров; T6 – обеспечение работоспособности аварийных выходов; T7 – обеспечение работоспособности кнопок аварийной остановки; T8 – обеспечение исправной работы концевых выключателей; T9 – проведение инструктажа оперативного персонала; T10 – обеспечение оперативного персонала средствами индивидуальной защиты; T11 – сохранение резервных копий программ на разных носителях; T12 – отладка программ сварки; T13 – корректное подключение шкафа сервоуправления к сети электропитания; T14 – корректное подключение сварочного оборудования к сети электропитания; T15 – корректное подключение контроллеров к сети электропитания; T16 – корректное подключение сенсора тактильного отслеживания к сети электропитания; T17 – обеспечение исправности фотозлементных барьеров; T18 – обеспечение исправности реле безопасности ADSR0 и ADSR1; T19 – обеспечение исправности концевых выключателей аварийного выхода; T20 – обеспечение исправности аварийной кнопки на калитке аварийного выхода; T21 – исправное функционирование аварийной кнопки шкафа сервоуправления; T22 – исправное функционирование аварийной кнопки пульта управления; T23 – исправное функционирование аварийной кнопки на контроллерах; T24 – исправное функционирование концевиков на перемещение тележек; T25 – исправное функционирование датчика удара горелки; T26 – исправное функционирование концевика «домашнего» положения робота; T27 – инструктаж оперативного персонала по охране труда и технике безопасности; T28 – инструктаж оперативного персонала по пожарной безопасности; T29 – инструктаж оперативного персонала по оказанию первой помощи; T30 – инструктаж оперативного персонала по действиям в аварийных ситуациях; T31 – обеспечение оперативного персонала спецодеждой; T32 – обеспечение оперативного персонала защитными перчатками; T33 – обеспечение оперативного персонала защитными очками; T34 – обеспечение оперативного персонала защитными касками; T35 – сварка пробного образца; T36 – обеспечение отсутствия программных сбоев; T37 – корректное подключение шкафа сервоуправления к электросети цеха; T38 – обеспечение заземления шкафа сервоуправления; T39 – корректное подключение источника питания к электросети цеха; T40 – подключение массового и обратного проводов к источнику питания; T41 – корректное подключение питания контроллеров к шкафу сервоуправления; T42 – обеспечение заземления контроллеров; T43 – корректное подключение тактильного сенсора к источнику питания; T44 – подключение массового и обратного проводов к источнику питания и стенду сварки; Λ – символ конъюнкции; V – символ дизъюнкции

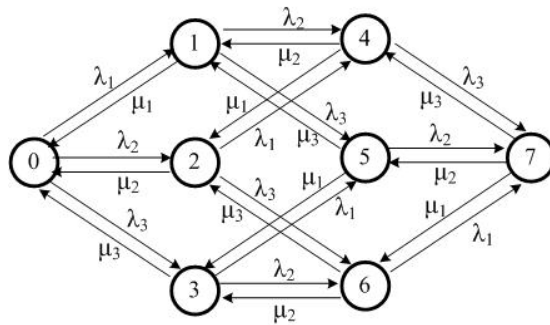


Рис. 2. Граф состояний для трехэлементного сечения .

0 – выполняются все мероприятия; 1 – не выполнено мероприятие T_{24} ; 2 – не выполнено мероприятие T_{25} ; 3 – не выполнено мероприятие T_{26} ; 4 – не выполнены мероприятия T_{24}, T_{25} ; 5 – не выполнены мероприятия T_{24}, T_{25}, T_{26} ; 6 – не выполнены мероприятия T_{24}, T_{26} ; 7 – не выполнены мероприятия T_{24}, T_{25}, T_{26} , λ – частота отказов оборудования, возникающих в ходе технологического процесса; μ – интенсивность действий персонала по преодолению отказов.

Для данного сочетания событий решение задачи минимизации аварии сводится к выбору такой интенсивности действий по восстановлению $\mu_i^*(t)$, $i = 1, 2, 3$, при которой на заданном временном интервале $[t_n, t_k]$:

$$\int_{t_n}^{t_k} P_7(P_0, P_1, P_2, P_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3, t) dt \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} dP_0(t)/dt = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_0(t) + \mu_1 P_1(t) + \mu_2 P_2(t) + \mu_3 P_3(t) \\ dP_1(t)/dt = \lambda_1 P_0(t) - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_1(t) + \mu_2 P_4(t) + \mu_3 P_5(t) \\ dP_2(t)/dt = \lambda_2 P_0(t) - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3)P_2(t) + \mu_1 P_4(t) + \mu_3 P_6(t) \\ dP_3(t)/dt = \lambda_3 P_0(t) - (\mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2)P_3(t) + \mu_1 P_5(t) + \mu_2 P_6(t) \\ dP_4(t)/dt = \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1 P_2(t) - (\mu_2 + \mu_1 + \lambda_3)P_4(t) + \mu_3 P_7(t) \\ dP_5(t)/dt = \lambda_3 P_1(t) + \lambda_1 P_3(t) - (\mu_3 + \mu_1 + \lambda_2)P_5(t) + \mu_2 P_7(t) \\ dP_6(t)/dt = \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1 P_2(t) - (\mu_2 + \mu_1 + \lambda_3)P_4(t) + \mu_1 P_7(t) \\ dP_7(t)/dt = \lambda_3 P_4(t) + \lambda_2 P_5(t) + \lambda_1 P_6(t) - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)P_7(t) \end{cases}$$

где P_i , $i = 0, 1, \dots, 15$ – вероятность перехода объекта управления в i -е состояние.

При конкретных значениях числовых коэффициентов λ_i , μ_i , $i = 1, 2, 3$ в данный момент времени получим вероятность нереализуемости плана из-за сочетания событий, соответствующих сечению $T_{24}-T_{25}-T_{26}$. Аналогичным образом подсчитываются вероятности невыполнения плана для остальных сечений в разные моменты времени, что позволяет предотвратить наступление критических сочетаний событий, приводящих к аварийным ситуациям. Разработанное математическое обеспечение планируется внедрить в составе комплекса технических средств управления роботизированными системами Kawasaki в ОАО «Трансмаш» (г.Энгельс) по методикам [4-10].

$$\int_{t_n}^{t_k} P_7(P_0, P_1, P_2, P_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3, t) dt \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} dP_0(t)/dt = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_0(t) + \mu_1 P_1(t) + \mu_2 P_2(t) + \mu_3 P_3(t) \\ dP_1(t)/dt = \lambda_1 P_0(t) - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_1(t) + \mu_2 P_4(t) + \mu_3 P_5(t) \\ dP_2(t)/dt = \lambda_2 P_0(t) - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3)P_2(t) + \mu_1 P_4(t) + \mu_3 P_6(t) \\ dP_3(t)/dt = \lambda_3 P_0(t) - (\mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2)P_3(t) + \mu_1 P_5(t) + \mu_2 P_6(t) \\ dP_4(t)/dt = \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1 P_2(t) - (\mu_2 + \mu_1 + \lambda_3)P_4(t) + \mu_3 P_7(t) \\ dP_5(t)/dt = \lambda_3 P_1(t) + \lambda_1 P_3(t) - (\mu_3 + \mu_1 + \lambda_2)P_5(t) + \mu_2 P_7(t) \\ dP_6(t)/dt = \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1 P_2(t) - (\mu_2 + \mu_1 + \lambda_3)P_4(t) + \mu_1 P_7(t) \\ dP_7(t)/dt = \lambda_3 P_4(t) + \lambda_2 P_5(t) + \lambda_1 P_6(t) - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)P_7(t) \end{cases}$$

где P_i , $i = 0, 1, \dots, 15$ – вероятность перехода объекта управления в i -е состояние.

При конкретных значениях числовых коэффициентов $\lambda_i, \mu_i, i = 1, 2, 3$ в данный момент времени получим вероятность нереализуемости плана из-за сочетания событий, соответствующих сечению $T_{24}-T_{25}-T_{26}$. Аналогичным образом подсчитываются вероятности невыполнения плана для остальных сечений в разные моменты времени, что позволяет предотвратить наступление критических сочетаний событий, приводящих к аварийным ситуациям. Разработанное математическое обеспечение планируется внедрить в составе комплекса технических средств управления роботизированными системами Kawasaki в ОАО «Трансмаш» (г.Энгельс) по методикам [4-10].

Литература

1. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Иващенко В.А., Фоминых Д.С., Богомолов А.С., Филimonюк Л.Ю. Минимизация ущерба от нарушения технологического процесса в сварочных роботизированных технологических комплексах // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2017. №5. – С. 328–332.
2. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Иващенко В.А., Фоминых Д.С., Богомолов А.С., Филimonюк Л.Ю. Предотвращение аварийных ситуаций в процессе сварки в роботизированных технологических комплексах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 4. – С. 46–55.
3. Rezchikov A.F., Kushnikov V.A., Ivashchenko V.A., Fominykh D.S., Bogomolov A.S., Filimonjuk L. Yu. Prevention of critical events combination in robotic welding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2017, Vol. 46, No. 4. – P. 370–379.
4. Kushnikov V.A., Rezchikov A. F., Tsvirkun A.D. Control in man-machine systems with automated correction of objectives. Meitan Kexun Jishu. 1998. V. 26. №11. P. 168–175.
5. Rezchikov A.F., Kushnikov V.A., Ivashchenko V.A., Fominykh D.S., Bogomolov A.S., Filimonjuk L. Yu. Controlling the welding process in robotic technological complexes by the criterion of product quality // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2019. Т. 20. №1. – С. 29–33.
6. Fominykh D.S., Kushnikov V.A., Rezchikov A.F. Prevention unstable conditions in the welding process via robotic technological complexes. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 224. 01045
7. Fominykh D.S., Rezchikov A.F., Kushnikov V.A., Ivashchenko V.A., Bogomolov A.S., Filimonjuk L. Yu., Dolinina O.N., Kushnikov O.V., Shulga T.E., Tverdokhlebov V.A. The problem of quality assurance during metal constructions welding via robotic technological complexes. 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1015 032169.
8. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Евсеев П.Л., Кабанов И.А. Задачи и модели оперативного управления компрессорным хозяйством промышленного предприятия // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2004. №3. – С.45–50.
9. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Иващенко В.А., Фоминых Д.С., Богомолов А.С., Филimonюк Л.Ю. Модели и алгоритмы управления процессом сварки роботизированными технологическими комплексами по критерию качества производимой продукции // Управление большими системами. 2018. Вып. 71. – С. 98–122.
10. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Лушников И.В. Оптимизационные задачи интеллектуальной системы управления процессами воздухообеспечения на машиностроительном предприятии // Автоматизация и современные технологии. 1999. №1. – С. 24–32.