

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДТАЛКИВАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Д. С. Фоминых¹, В. А. Кушников¹, А. С. Богомолов²

¹Федеральный исследовательский центр
«Саратовский научный центр Российской Академии Наук», Россия

²Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия
E-mail: dm_fominyh@mail.ru, kushnikoff@yandex.ru, alexbogomolov@yandex.ru

Рассмотрена задача по управлению роботизированными комплексами дуговой сварки с применением подталкивающих воздействий. Приведена постановка задачи определения воздействий на актора с целью подталкивания к заданному поведению. Предложен подход к решению задачи на основе анализа логических деревьев и их минимальных сечений.

DETERMINATION OF THE NUDGING ACTIONS IN CONTROL OF ARC WELDING ROBOTIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES

D. S. Fominykh, V. A. Kushnikov, A. S. Bogomolov

The problem of controlling robotic arc welding complexes using nudging actions is considered. The problem of determining the effects on an actor in order to encourage a given behavior is presented. An approach to solving the problem based on the analysis of logical trees and their minimal sections is proposed.

Управление техническими системами, в том числе с применением роботизированных технологических комплексов (РТК) несмотря на высокий уровень автоматизации требует участия оперативного персонала высокой квалификации. В современных условиях кадрового дефицита вопрос принятия решений в режиме реального времени является крайне актуальным. Основная операционная деятельность персонала регулируется локально-нормативными актами (приказы, инструкции, регламенты, положения), однако в некоторых случаях (дефицит времени, нехватка или недостаточная квалификация персонала, нестандартная ситуация) может быть целесообразно применение теории подталкивания для того, чтобы подвести персонал к принятию правильного решения, используя подталкивающие воздействия различных типов [1-3].

Теория подталкивания нашла свое основное применение в управлении социальными системами, однако, как было сказано выше, в технических системах важную роль играет человеческий фактор. Следовательно, для эффективного управления необходимо учитывать не только стаж работы персонала и его квалификацию, но даже физическое и психологическое состояние.

© Фоминых Д. С., Кушников В. А., Богомолов А. С., 2025

Таким образом, применение теории подталкивания при управлении РТК не является альтернативой существующим методам [4-13], но может быть вполне эффективным как дополнение к ним.

В данном случае акторами являются операторы РТК, наладчики, программисты, руководители – все, кто прямо или косвенно воздействуют на технологический процесс. Учитывая сложность объекта управления, количество событий, которые нужно анализировать при определении подталкивающих воздействий может быть велико, а время на реализацию правильного воздействия как правило очень ограничено. Таким образом, требуется разработка алгоритмов и применение современных информационных технологий для анализа и выбора подталкивающих воздействий.

Пусть A – актер, $S_a(t)$ – состояние актора в момент времени $t \in T$. $V_a(t)$ – действия, которые предпринимает актер при воздействии возмущений внешней среды $\xi(t)$ для перехода в заданное состояние S_a^* из начального состояния $S_a(t_0)$.

Требуется определить управляющие воздействия $Vr(t)$ исследователя на внешнюю среду, вызывающие ее возмущения, при которых актер достигает состояния S_a^* при заданных ограничениях:

$$X(t) \leq L(S_a(t), V_a(t), S_e(t), \xi(t), t) \leq Y(t),$$

где $S_e(t)$ – состояние внешней среды, L, X, Y – некоторые функции.

Таким образом, задача заключается в подстраивании внешних условий таким образом, чтобы актер, не меняя своих критериев поведения, действовал в интересах исследователя.

В основе предлагаемого подхода лежит применение множества логических деревьев $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$, корневая вершина каждого из которых соответствует достижению актором состояния S_a^* , интересующего исследователя.

То есть, реализация любого сечения (в том числе минимального сечения [14]) дерева должна приводить к достижению актором одного из желаемых исследователем состояний. В нашем случае данные состояния соответствуют безаварийной, бездефектной и безопасной работе РТК.

Вершины деревьев соответствуют событиям, связанным с актором и внешней средой. Знания, на основе которых строятся деревья, собираются в результате наблюдений за состоянием РТК, поведением оперативного и ремонтного персонала, выступающего в роли акторов. Обозначим множество событий, составляющих деревья из G , через Ψ_G . Предполагаем, что для некоторых событий множества известна совокупность необходимых действий исследователя по организации этих событий.

Пусть в процессе взаимодействия актора и внешней среды происходит некоторое множество событий $\Psi \subseteq \Psi_G$. Если какие-либо события из множества Ψ составляют минимальное сечение дерева из G , то цель исследователя реализована, и актер достигает состояния S_a^* . В противном случае необходимо найти множество Ψ^* всех подмножеств из Ψ , каждое из которых включает элементы некоторого минимального сечения какого-либо дерева из G .

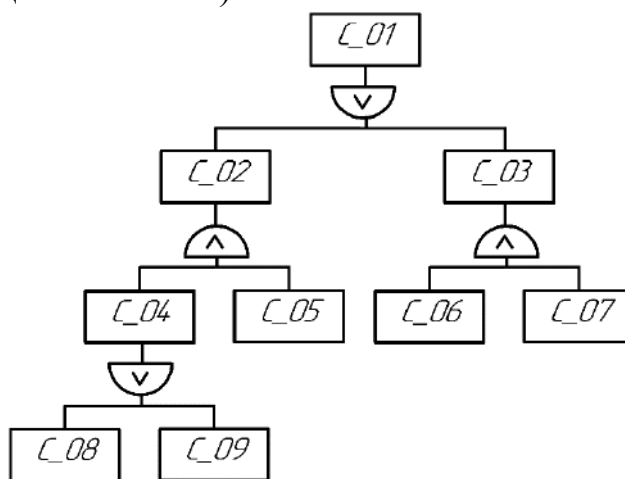
Рассмотрим в качестве примера ситуацию с подталкиванием оператора

РТК к внеплановому контролю сварного шва. В процессе сварки может возникнуть ситуация, при которой дефект еще не образовался, но есть признаки его скорого появления.

Например, при износе токосъемного наконечника горелки ширина сварного шва будет колебаться. При этом геометрические параметры шва будут находиться в пределах требований конструкторской документации, и ОТК при контроле не выявит отклонений, поэтому сама по себе неравномерность шва может не являться дефектом. Но данный факт может быть признаком предельного ресурса токосъемного наконечника, при окончательном износе которого могут возникать не только отклонения от геометрии сварного шва, но также прилипания электрода и подрезы, что не только является дефектом, но и влечет остановку технологического процесса и требует времени и затрат на исправление брака.

Таким образом, превентивной заменой наконечника оператор может предотвратить серьезные последствия. Оператор с большим стажем работы об этом знает, но неопытный оператор может не обратить внимания на незначительные отклонения формы шва. Таким образом, целью исследователя в данном случае является подталкивание оператора к внеплановому контролю сварного шва.

Фрагмент возможного логического дерева для определения подталкивающих воздействий приведен на рис. Состояние С_01 соответствует достижению цели исследователя – подталкиванию оператора к контролю сварного шва; С_05 – всплывающее сообщение на мониторе с рекомендацией; С_06 – состояние, соответствующее началу смены (необходимо учесть, что в течение прошлой смены наконечник не менялся, а оператор при приемке не просмотрел записи в журнале); С_07 – визуализация на рабочем месте (например, стандартная операционная карта); С_08 – стаж работы оператора меньше 3 месяцев; С_09 – возраст оператора >50 лет (даже при большом опыте в силу возраста у оператора может снизиться концентрация внимания).



Фрагмент логического дерева
для определения подталкивающих воздействий

Множество минимальных сечений данного логического дерева: {С_05,

C_08}, {C_05, C_09}, {C_06, C_07}. Эти сечения лежат в основе различных сценариев подталкивания оператора к внеплановому контролю сварного шва. Например, при начале смены для оператора со стажем работы менее 3 месяцев или старше 50 лет на мониторе будет появляться всплывающее сообщение с рекомендацией провести осмотр последних участков сварки и заменить токосъемный наконечник при минимальных изменениях ширины сварного шва.

В силу возможных изменений начальных условий действия актора после удачного подталкивания не обязательно будут соответствовать заданным ограничениям. Также у исследователя может быть недостаточно данных о возможных действиях актора без подталкивания, он имеет только некоторую информацию об этих ограничениях и попытке актора следовать им. Таким образом, подталкивающее воздействие будет определяться неким рядом последовательно решаемых задач описанного типа.

Предлагаемый в докладе подход к определению подталкивающих воздействий при управлении РТК дуговой сварки с применением математического аппарата логических деревьев и их минимальных сечений может быть использован и в других сложных технических системах. Системы поддержки принятия решения и информационно-советующие комплексы на основе данного подхода могут применяться для поиска подталкивающих воздействий на разных временных отрезках. Данные, полученные при использовании таких систем, также могут быть использованы для определения действий по предотвращению критических ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Caraban A.* 23 ways to nudge // Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2019. P. 1-15.
2. *Милкова М. А.* Теория подталкивания и ее искажения в информационной среде // Цифровая экономика 2019. № 4 (8). С. 21-26.
3. *Weinmann M., Schneider C., Brocke J.* Digital nudging // Business & Information Systems Engineering. 2016. Vol. 58 (6). P. 433-436.
4. *Fominykh D., Baryshnikova E., Antipin S.* The algorithm of searching for critical combinations of events during the welding process in robotic technological complexes // MLSD. 15th International Conference Management of large-scale system development. 2022. P. 1-4.
5. *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.
6. *Fominykh D. S., Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Ivashchenko V. A., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Yu., Dolinina O. N., Kushnikov O. V., Shulga T. E., Tverdokhlebov V. A.* Problem of quality assurance during metal constructions welding via robotic technological complexes // Journal of Physics: Conference Series. "International Conference Information Technologies in Business and Industry. 2018.
7. *Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Ivashchenko V. A., Fominykh D. S., Bogomolov A. S., Filimonyuk 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.
8. *Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Фоминых Д. С., Богомолов А. С., Филимонок Л. Ю.* Снижение ущерба от критических сочетаний событий при сварке роботизированными технологическими комплексами // Автоматизация. Современные технологии.

2019. Т. 73. № 1. С. 22-26

9. Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Фоминых Д. С., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Управление процессом сварки в роботизированных технологических комплексах по критерию качества продукции в условиях риска возникновения нестабильных состояний // Системы управления и информационные технологии. 2017. № 3 (69). С. 65-72.

10. Фоминых Д. С. Задача снижения риска возникновения бракованной продукции в процессе сварки роботизированными комплексами // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2021. № 6. С. 158-163.

11. Фоминых Д. С., Кушников В. А. Задача управления процессом сварки в роботизированных технологических комплексах по критерию аварийности // Компьютерные науки и информационные технологии Материалы Международной научной конференции. 2018. С. 421-424.

12. Фоминых Д. С., Кушников В. А., Богомолов А. С. Алгоритм оценки риска появления дефектов в процессе сварки в роботизированных комплексах // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2024. № 9. С. 96-101.

13. Фоминых Д. С., Кушников В. А., Богомолов А. С. Применение нейросетевого моделирования при управлении роботизированными технологическими комплексами в условиях риска возникновения аварийных ситуаций // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2023. № 8. С. 179-183.

14. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М. : Мир, 1984. 318 с.