

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

А. Ф. Резчиков, В. А. Кушников, В. А. Иващенко, Д. С. Фоминых,
А. С. Богомолов, Л. Ю. Филимонюк

Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов

Поступила в редакцию 17.10.2017 г.

Аннотация. Рассматриваются задачи, математические модели и алгоритмы рационального управления технологическим процессом автоматической сварки в роботизированных технологических комплексах в условиях возникающих аварийных ситуаций, приводящих к остановке технологического процесса.

Ключевые слова: роботизированный технологический комплекс, управление процессом сварки, аварийная ситуация, математическая модель, алгоритм.

Annotation. Problems, mathematical models and algorithms for rational control of the technological process of automatic welding in robotic technological complexes under the conditions of emergency situations leading to the shutdown of the technological process are considered in the article.

Keywords: robotic technological complex, control of welding process, emergency situation, mathematical model, algorithm.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из эффективных способов решения задачи повышения производительности машиностроительного предприятия является автоматизация производственного процесса за счет внедрения роботизированных технологических комплексов (РТК) дуговой сварки.

Процесс сварки в РТК характеризуется большим количеством контролируемых параметров и существенной ролью оперативно-диспетчерского и ремонтного персонала.

Роботизированный технологический комплекс дуговой сварки состоит из синхронно работающих манипуляторов, снабженных сварочным оборудованием (источник питания, блок подачи проволоки, блок охлаждения, сварочная горелка и др.). Комплекс дополнен устройствами безопасности (ограждение, кнопки аварийной остановки,

фотоэлементные барьеры). Управление и оперативный контроль работы комплекса осуществляется оператором посредством переносного пульта, связанного с контроллером.

В настоящее время разработаны и прошли проверку на практике различные системы для оптимизации работы РТК. Анализ их функционального назначения показывает, что основное внимание в них уделяется точности позиционирования манипуляторов и соблюдения режимов сварки [1–6]. При этом в используемых системах, как правило, отсутствует решение задачи минимизации ущерба от остановок технологического процесса (ТП) из-за аварийных ситуаций при сварке изделий в РТК. Данные соображения определяют актуальность, экономическую целесообразность и практическую значимость статьи, посвященной разработке задач, моделей и алгоритмов управления процессом сварки изделий в РТК по критерию, позволяющему минимизировать вероятность возникновения аварийных ситуаций, приводящих к остановке технологического процесса.

© Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Фоминых Д. С., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю., 2017

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать алгоритм поиска вектора управляющих воздействий $\mathbf{u}^*(t) \in \mathbf{U}$, позволяющих на временном отрезке $[t_i, t_k]$ при любых допустимых значениях вектора состояния среды $\mathbf{x}(t) \in \mathbf{X}$ минимизировать критерий, характеризующий аварийность технологического процесса

$$K = \int_{t_H}^{t_K} P(t, \mathbf{x}, \mathbf{x}', \mathbf{u}, \mathbf{u}') dt \quad (1)$$

при ограничениях

$$F_k(t, \mathbf{x}, \mathbf{x}', \mathbf{u}, \mathbf{u}') \geq 0, k = 1, \dots, n_1;$$

$$F_k(t, \mathbf{x}, \mathbf{x}', \mathbf{u}, \mathbf{u}') < 0, k = n_1 + 1, \dots, n_2$$

и граничных условиях

$$F_k^{(t_H)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}', \mathbf{u}, \mathbf{u}') = 0, k = n_3, \dots, n_4;$$

$$F_k^{(t_K)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}', \mathbf{u}, \mathbf{u}') = 0, k = n_4 + 1, \dots, n_5,$$

где K – целевая функция, характеризующая аварийность процесса сварки роботизированным комплексом на временном интервале $[t_H, t_K]$; P – вероятность возникновения аварии, приводящей к остановке технологического процесса; \mathbf{X}, \mathbf{U} – множества допустимых значений соответственно векторов $\mathbf{x}(t)$ и $\mathbf{u}(t)$; t – текущее время; n_1, \dots, n_5 – известные константы.

Решение данной задачи представляет трудности из-за необходимости разработки сложной динамической модели, учитывающей многочисленные количественные и качественные характеристики ТП, а также из-за неопределенности параметров модели на временном отрезке $[t_H, t_K]$. В связи с этим разработан эвристический метод решения задачи (1), представленный ниже.

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Анализ процесса дуговой сварки изделий в РТК, а также изучение опыта оперативно-диспетчерского персонала дают основание утверждать, что решение задачи (1) может быть не единственным, т. е. области изменения целевой функции K , в каждой точке которых она достигает минимального значения K_{\min} .

С учетом этого для решения задачи (1) необходимо определить значения вектора управляющих воздействий $\mathbf{u}^*(t) \in \mathbf{U}$, которые обеспечат попадание критерия K в область его минимальных значений.

В основу алгоритма оптимизации критерия K положено утверждение, согласно которому для решения задачи минимизации вероятности аварии достаточно разработать и реализовать план действий, реализация которого позволит предотвратить возникновение аварийных ситуаций в процессе сварки в РТК [7]. Возможность разработки такого плана подтверждается практикой успешного функционирования роботизированных комплексов на отечественных предприятиях. Таким образом, решение задачи (1) можно свести к проверке реализуемости данного плана на временном отрезке $[t_H, t_K]$.

На основе анализа событий, приводящих к аварийным ситуациям, разработан план действий 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 возможного плана действий приведен на рис. 1.

На выполнимость мероприятий данного плана влияют условия, учитывающие специфику ТП. Эти условия задаются в виде продукций:

$$\text{Условие } g_i : \text{ЕСЛИ} \langle B_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}) R_1 B_2(\mathbf{x}, \mathbf{u}) R_2 \dots R_j \dots R_{k-1} B_k(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \rangle, \quad (2)$$

ТО \langle выполнение мероприятия S_p возможно / невозможно \rangle

Здесь $B_j(\mathbf{x}, \mathbf{u})$, $j = 1, 2, \dots, k$ – условия выполнения соответствующих мероприятий, R_j , $j = 1, \dots, k-1$ – множество логических операций «И», «ИЛИ», «НЕ», $S_p \in \{S_0, S_1, \dots, S_{37}\}$ – мероприятия плана. Таким образом, решение задачи сводится к периодической проверке выполнимости мероприятий плана S_0 при заданных условиях g_i .

Рассмотрим алгоритм проверки выполнимости плана мероприятий S_0 на примере процесса дуговой сварки в РТК с манипуляторами Kawasaki FA10L на контроллерах С40

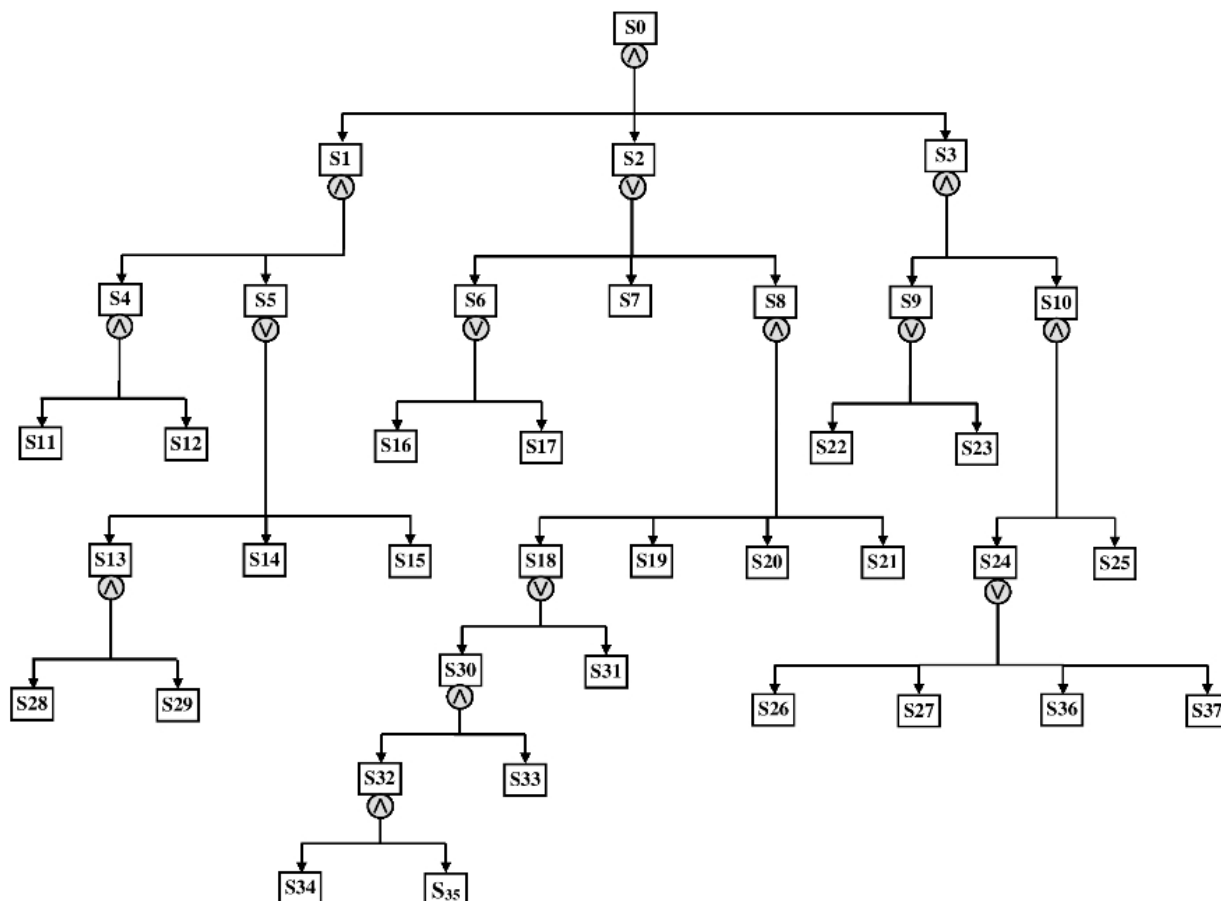


Рис. 1. Фрагмент графа плана мероприятий по снижению аварийности процесса сварки в РТК: S_0 – снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций при сварке РТК; S_1 – снижение времени аварийного простоя; S_2 – снижение времени сварки изделия; S_3 – снижение времени ожидания комплекса; S_4 – снижение времени ремонта; S_5 – постоянный контроль оператором за функционированием комплекса; S_6 – обеспечение корректных параметров сварки; S_7 – обеспечение подачи защитного газа в магистраль; S_8 – обеспечение качества расходных материалов; S_9 – снижение времени на сборку деталей; S_{10} – обеспечение работоспособности грузоподъемного оборудования; S_{11} , S_{26} – повышение квалификации обслуживающего персонала; S_{12} , S_{27} – обеспечение обслуживающего персонала инструментом и запчастями для ремонта; S_{13} – снижение времени на восстановление оператором процесса сварки после остановки комплекса; S_{14} – повышение квалификации оперативного персонала; S_{15} – обеспечение незамедлительного вызова оператором ремонтного персонала при невозможности самостоятельного восстановления процесса сварки; S_{16} – обеспечение максимально возможного повышения скорости сварки при соблюдении требований документации; S_{17} – обеспечение максимально возможного увеличения диаметра сварочной проволоки при соблюдении требований документации; S_{18} – обеспечение качества защитного газа; S_{19} – контроль качества проволоки; S_{20} – контроль качества наконечников для сварочных горелок; S_{21} – обеспечение качества направляющих для шланг-пакетов; S_{22} – своевременная поставка заготовок для сборки; S_{23} – контроль за скоростью и качеством сборки; S_{24} – проведение работ по обслуживанию грузоподъемного оборудования согласно графику; S_{25} – повышение квалификации машинистов кранов; S_{28} – обеспечение операторов необходимыми запчастями; S_{29} – обеспечение операторов расходными материалами; S_{30} – контроль качества защитного газа; S_{31} – проверка качества защитного газа при поставке его на предприятие; S_{32} – обеспечение требуемого давления защитного газа на входе робота (не менее 5 МПа); S_{33} – установка подогревателей на газовых редукторах; S_{34} – обеспечение операторов исправными газовыми редукторами; S_{35} – обеспечение герметичности газового контура; S_{36} – укомплектованность ремонтной службы в соответствии со штатным расписанием; S_{37} – своевременный вывод грузоподъемного оборудования в ремонт согласно графику; \wedge – символ конъюнкции; \vee – символ дизъюнкции

Таблица 1

Технологические характеристики процесса дуговой сварки в РТК

Обозначение	Наименование параметра
I	Текущее значение сварочного тока, А
$I_{ном}$	Номинальное значение сварочного тока, А
ε_I	Пороговое отклонение тока от номинального, А
I_w	Текущее значение тока на двигателе подающего механизма, А
I_w^*	Пороговое значение тока на двигателе подающего механизма, А
$ErrorCodeC$	Значение ошибки контроллера
$ErrorCodePS$	Значение ошибки источника питания
P_a	Давление сжатого воздуха в пневматическом контуре, МПа
P_z	Давление защитного газа на входе, МПа
Q_R	Количество РТК, задействованных в технологическом процессе
Q_O	Численность операторов
Q_N	Численность наладчиков
$Freq_err$	Частота возникновения ошибок на одном РТК, час-1

и источниками питания Fronius TPS5000. Исходя из опыта эксплуатации данного оборудования, сформировано 8 основных условий, влияющих на выполнение мероприятий плана S_0 (рис. 1). В левой части продукции учетны основные характеристики ТП (табл.1).

Ниже перечислены основные условия, влияющие на выполнение мероприятий плана S_0 :

Условие g_1 : ЕСЛИ $\langle ErrorCodePS = ERR | 056 \rangle$

ИЛИ $\langle I_w > I_w^* \rangle$,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_0, S_{16} невозможно \rangle

Условие g_2 : ЕСЛИ $\langle P_r < 5MPa \rangle$

ИЛИ \langle произошла утечка
защитного газа \rangle ,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_{18}, S_{32}, S_{35} невозможно \rangle

Условие g_3 : ЕСЛИ $\langle g_2 = TRUE \rangle$ И

$\langle ErrorCodeC = CycleStopped \rangle$ И

\langle выполнена герметизация
газового контура \rangle ,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_{18}, S_{32}, S_{35} возможно \rangle

Условие g_4 : ЕСЛИ $\langle ErrorCodeC = -1610 \rangle$

ИЛИ $\langle ErrorCodePS = Efd | 8.2 \rangle$

ИЛИ $\langle |I - I_{ном}| \geq \varepsilon_I \rangle$,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_6, S_{16} невозможно \rangle

Условие g_5 : ЕСЛИ $\langle Q_O < Q_R \rangle$

И $\langle Freq_Err > 2,5 \rangle$,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_2, S_5 невозможно \rangle

Условие g_6 : ЕСЛИ $\langle Q_N < Q_R / 2 \rangle$

И $\langle Freq_Err > 3 \rangle$,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_4, S_{15} невозможно \rangle

Условие g_7 : ЕСЛИ $\langle g_4 = TRUE \rangle$

И $\langle ErrorCodeC = CycleStopped \rangle$,

ТО \langle выполнение мероприятий

S_6, S_{16} возможно \rangle

Условие g_8 : ЕСЛИ $\langle ErrorCodeC = -1802 \rangle$
 ИЛИ $\langle ErrorCodePS = ERR | 052 \rangle$
 ИЛИ $\langle |I - I_{iii}| \geq \varepsilon_I \rangle$,

ТО \langle выполнение мероприятий
 S_0, S_6 невозможно \rangle

По известным правилам, используемым при проектировании цифровых ЭВМ [8], системе продукции (2) и графу мероприятий (рис. 1) поставлена в соответствие логическая функция

$$F(S_1, S_2, \dots, S_{37}, g_1, g_2, \dots, g_8) = S_4 \wedge S_{12} \wedge \bar{g}_6 \wedge \bar{g}_5 \wedge ((S_{28} \wedge S_{29}) \vee S_{14} \vee (S_{15} \wedge \bar{g}_6)) \wedge ((S_{16} \wedge \bar{g}_1 \wedge \bar{g}_4 \wedge g_7 \vee S_{17}) \wedge \bar{g}_8 \wedge \bar{g}_4 \wedge g_7 \vee S_7 \vee (S_{34} \wedge S_{35} \wedge \bar{g}_2 \wedge g_3 \wedge S_{33} \vee S_{31}) \wedge \wedge S_{19} \wedge S_{20} \wedge S_{21}) \wedge (S_{22} \vee S_{23}) \wedge (S_{26} \vee S_{27} \vee S_{36} \vee S_{37}) \wedge S_{25} \wedge \bar{g}_1 \wedge \bar{g}_8$$

$$F(S_1, S_2, \dots, S_{37}, g_1, g_2, \dots, g_8) = \begin{cases} 1, & \text{если план выполним;} \\ 0, & \text{если план невыполним.} \end{cases}$$

На рис. 2 приведена структурная схема дискретного устройства, построенного по данной булевой функции, для быстрой проверки выполнения плана S_0 .

Задавая различные значения аргументов этой функции (выполнение или невыполнение мероприятий S_0, \dots, S_{37} и условий g_1, \dots, g_8), в любой момент времени можно оперативно проверить возможность выполнения плана мероприятий в различных производственных ситуациях, а, следовательно, минимизировать целевую функцию K .

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДУГОВОЙ СВАРКИ В РТК

В настоящее время разработанное математическое обеспечение решения задачи проходит апробацию в составе роботизированных комплексов Kawasaki на контроллерах С40 и сопряжённым сварочным оборудованием Fronius.

На рис. 3 приведена структурная схема комплекса технических средств, на базе которого проводится внедрение разработанных

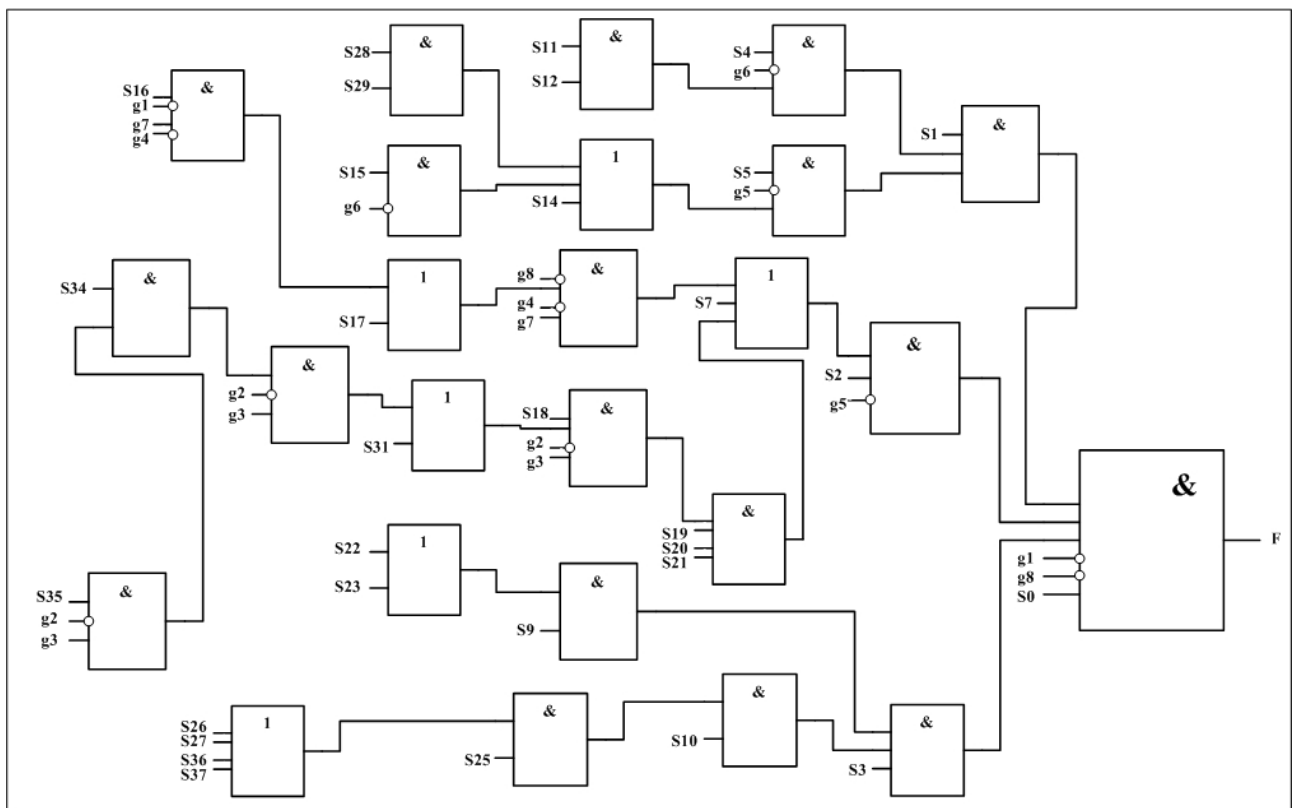


Рис. 2. Структурная схема дискретного устройства для оперативной проверки выполнимости плана мероприятий

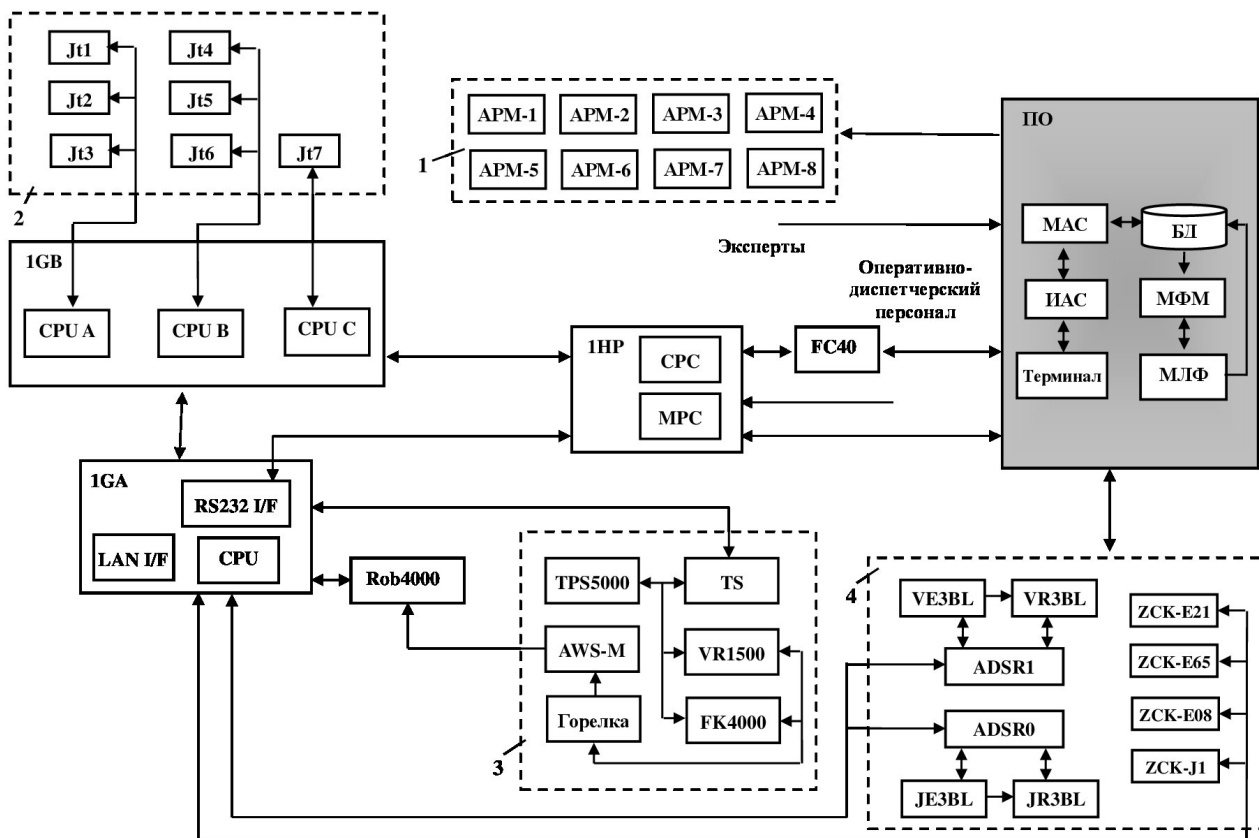


Рис. 3. Структура комплекса технических средств управления процессом сварки в РТК:

ПО – программное обеспечение для управления процессом в РТК дуговой сварки: терминал – интегрированный интерфейс RSVIEW32, ИАС – модуль идентификации аварийной ситуации, МАС – модуль выдачи рекомендаций по устранению аварийной ситуации, БД – база данных, МФМ – модуль формирования мероприятий плана по снижению ущерба от некачественной продукции, МЛФ – модуль вычисления логической функции для проверки выполнения плана; 1 – автоматизированные рабочие места специалистов: АРМ-1 – генерального директора, АРМ-2 – технического директора, АРМ-3 – директора по качеству, АРМ-4 – главного механика, АРМ-5 – главного технолога, АРМ-6 – начальника цеха, АРМ-7 – начальника ОТК, АРМ-8 – оператора; 2 – двигатели управления осями манипулятора: Jt1, Jt2, ... Jt7 – двигатели 1-й, 2-й, ... , 7-й осей соответственно; 3 – сварочный контур: TPS5000 – источник питания, TS – блок тактильного отслеживания детали, VR1500 – блок подачи сварочной проволоки, FK4000 – блок охлаждения сварочной горелки, AWS-M – датчик удара горелки; 4 – устройства безопасности: ADSR0, ADSR1 – реле управления фотоэлементными барьерами, VE3BL, JE3BL – эмиттеры, VR3BL, JR3BL – ресиверы, ZCK-E21 – концевые выключатели движения колонны манипулятора, ZCK-E65 – концевые выключатели начального положения сварочной горелки, ZCK-E08 – концевые выключатели аварийных дверей, ZCK-J1 – концевые выключатели сближения манипуляторов; 1GA – блок центрального процессора управления контроллером: RS232 I/F – последовательный интерфейс, LAN I/F – интерфейс для подключения к локальной сети, CPU – центральный процессор контроллера C-40; 1HP – блок управления сервоприводами: CPC – модуль управляющего питания двигателей, MPC – модули датчиков положения манипулятора; 1GB – блок управления двигателями осей манипулятора: CPU A – центральный процессор управления двигателями Jt1–Jt3, CPU B – центральный процессор управления двигателями Jt4–Jt6, CPU C – центральный процессор управления двигателем Jt7; FC40 – многофункциональный пульт оператора; Rob4000 – интерфейс пользователей для связи со сварочным оборудованием

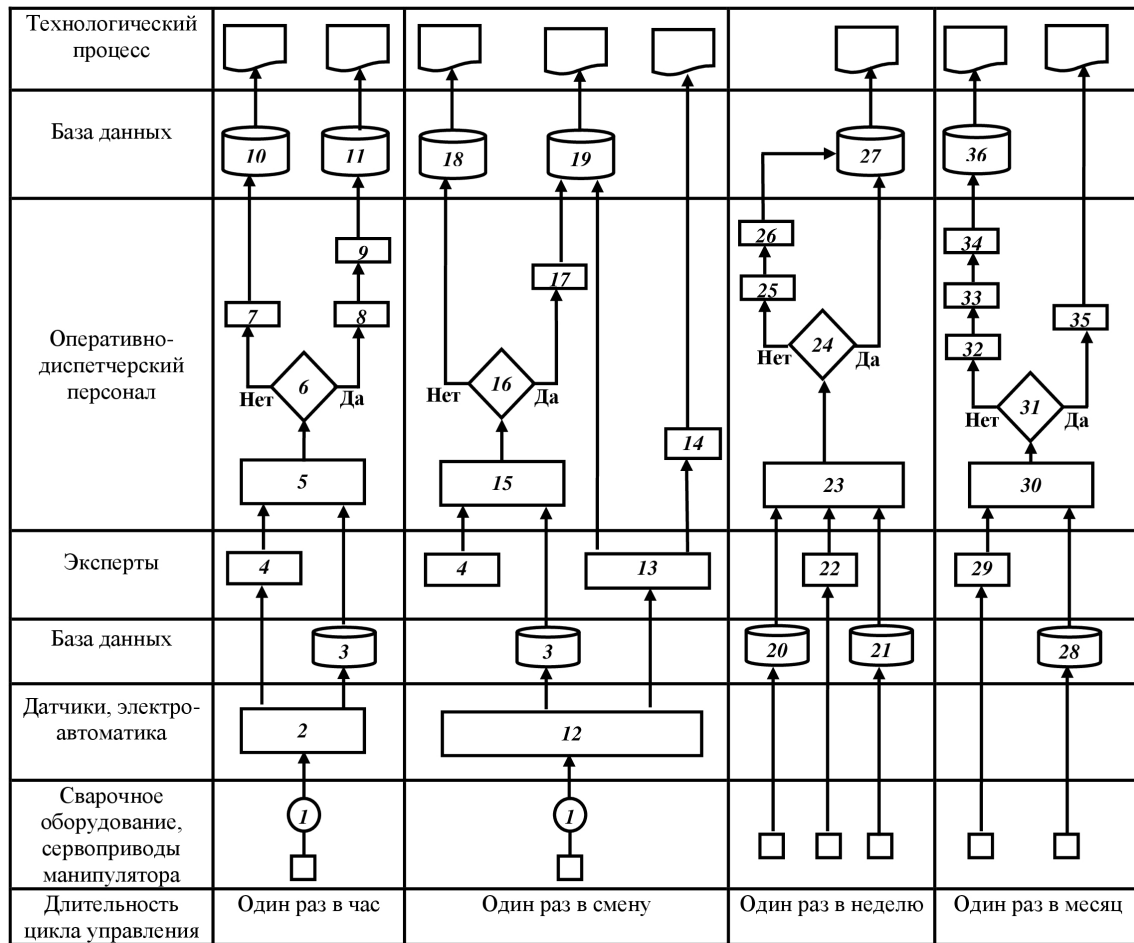


Рис. 4 Информационно-логическая схема решения задачи управления процессом дуговой сварки в РТК:

1 – ТП сварки; 2 – сбор информации о ходе ТП; 3 – запись информации об отклонениях параметров сварки в БД; 4 – оценка ситуации при отклонении параметров сварки от номинальных значений; 5 – идентификация текущей ситуации; 6 – ситуация аварийная?; 7 – сообщение о штатной ситуации оператору; 8 – сообщение о возникновении аварийной ситуации оператору; 9 – принятие решения по устранению аварийной ситуации; 10 – занесение информации о штатной ситуации в БД; 11 – занесение информации об аварийной ситуации в БД; 12 – сбор информации об отказах комплекса технических средств; 13 – корректировка плана мероприятий; 14 – выдача рекомендаций персоналу в соответствии с планом мероприятий; 15 – анализ состояния РТК; 16 – произошел отказ, учтенный в математической модели?; 17 – сообщение ремонтному персоналу и оператору об отказах комплекса технических средств; 18 – занесение информации об отказах в БД; 19 – занесение в БД информацию об откорректированной модели; 20 – извлечение из БД информации об отказах за неделю; 21 – извлечение информации из БД о выпуске некачественной продукции за неделю; 22 – составление плана мероприятий на основе экспертной информации об отклонениях параметров сварки; 23 – формирование логической функции для проверки выполнения плана мероприятий; 24 – план мероприятий выполнен?; 25 – поиск по графу плана мероприятий причин его невыполнения; 26 – выдача рекомендаций по устранению причин невыполнения плана мероприятий; 27 – занесение в БД информации о результатах минимизации ущерба от выпуска некачественной продукции; 28 – сбор информации о мероприятиях за месяц; 29 – экспертная оценка экономического эффекта от реализации мероприятий; 30 – анализ выполненных мероприятий оперативным персоналом; 31 – достигнут ли ожидаемый эффект?; 32 – анализ причин неэффективности; 33 – корректировка плана мероприятий; 34 – утверждение скорректированного плана мероприятий; 35 – премирование персонала; 36 – занесение в БД информации о скорректированном плане мероприятий

моделей и алгоритмов. Разработанное математическое обеспечение в составе описанного комплекса технических средств позволяет осуществить оперативное управление процессом сварки в РТК по предложенному критерию, характеризующему аварийность технологического процесса.

Процедура решения задачи управления процессом сварки в РТК дуговой сварки представлена на информационно-логической схеме (рис. 4).

Как следует из информационно-логической схемы, на временном отрезке «Один раз в час» выполняются анализ состояния РТК и сбор информации об отказах и отклонениях параметров сварки, информация заносится в БД.

На временном отрезке «Один раз в смену» проводится анализ причин возникновения отказов РТК. Информация о причинах отказов и способах их устранения выдается диспетчерскому персоналу и заносится в БД. В случае необходимости корректируются мероприятия плана по снижению аварийности технологического процесса, выдаются рекомендации оперативному персоналу, реализуются мероприятия, которые заносятся в БД.

На временном отрезке «Один раз в неделю» выполняется сбор информации об отказах комплекса технических средств, отклонениях сварочных параметров и выполненных мероприятиях плана по снижению аварийности технологического процесса. Проверка выполнимости плана мероприятий проводится с помощью логической функции. В случае его невыполнения выявляются причины и выдаются рекомендации по их устранению.

На временном отрезке «Один раз в месяц» на основе анализа накопленной информации о мероприятиях, реализованных в течение месяца, планово-экономическим отделом предприятия осуществляется оценка величины экономического эффекта управления процессом сварки. При невозможности достижения ожидаемого уровня экономического эффекта производятся необходимые изменения в плане мероприятий и коррекция параметров математической модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные модели и алгоритмы позволяют осуществить управление процессом сварки в роботизированных технологических комплексах по критерию, характеризующему аварийность технологического процесса. Поставлена и решена задача минимизации данного критерия, которая сводится к разработке, реализации и проверке выполнения плана мероприятий.

Внедрение разработанного математического обеспечения планируется осуществить в структурных подразделениях ОАО «Трансмаш» (г. Энгельс) по методикам [9–14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Е. И., Хатунцев Д. И. Прямая и обратная задача кинематической точности промышленных роботов // Автоматизация. Современные технологии. – 2014. – № 9. – С. 7–9.
2. Иванов В. П., Линьков В. С., Чернецкий Р. И. Специализированная автоматика для роботизированных сварочных комплексов // Автоматизация в промышленности. – 2015. – № 5. – С. 116–121.
3. Кушников В. А., Щербаков М. А. Задачи, модели и алгоритмы системы управления производством листового стекла // Управление большими системами: сборник трудов. – 2014. – № 48. – С. 198–224.
4. Паршева Е. А. Децентрализованное робастное управление многозвенным манипулятором сварочного производства // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 2. – С. 29–35.
5. Резчиков А. Ф., Иващенко В. А., Петров Д. Ю. Оптимизация структур роботизированных комплексов дуговой сварки // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1998. – № 6. – С. 60–65.
6. Филаретов В. Ф., Юхимец Д. А., Зуев А. В., Губанков А. С. Разработка новых методов управления мехатронными объектами в условиях неопределенности // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2016. – № 4 (188). – С. 108–115.

7. Щербаков М. А., Кушников В. А. Модели и алгоритмы системы управления аварийными ситуациями при производстве стекла // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (55). – Ред. 1. – С. 196–199.

8. Бойко В. И., Гуржий А. Н., Жуйков А. А., Зори А. А. и др. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 512 с.

9. Kushnikov V. A., Rezchikov A. F., Tsvirkun A. D. Control in man-computer systems with computer-aided goal correction // Automation and remote control. – 1998. – V. 59, N 7. – Part 2. – P. 1040–1046.

10. 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.

11. Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Фоминых Д. С., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Минимизация ущерба от нарушения технологического процесса в сварочных роботизированных технологических комплексах // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2017. – № 5. – С. 328–332.

12. Саютин А. В., Кушников В. А. Особенности применения метода главных компонент для обеспечения эффективной работы энергосбытовой организации // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 1, № 1 (37). – С. 99–104.

13. Фоминых Д. С., Кушников В. А. Модели и алгоритмы управления технологическим процессом автоматической сварки в роботизированных комплексах // Информационно-коммуникационные технологии в науке, производстве и образовании ICIT-2016. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.; под. ред. О. Н. Долининой. – 2016. – С. 229–234.

14. Фоминых Д. С., Кушников В. А. Модели и алгоритмы управления процессом сварки в роботизированных комплексах // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-29: сб. тр. XXIX Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 6 / под общ. ред. А. А. Большакова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т; Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2016. – С. 45–51.

Резчиков Александр Федорович – д-р техн. наук, член-корреспондент РАН. Научный руководитель Института проблем точной механики и управления РАН (Саратов).
Тел.: (8452)22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Кушников Вадим Алексеевич – доктор техн. наук, профессор. Директор Института проблем точной механики и управления РАН (Саратов).
Тел.: (8452) 22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Иващенко Владимир Андреевич – д-р техн. наук, старший научный сотрудник. Институт проблем точной механики и управления РАН (Саратов).
Тел.: (8452) 22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Rezchikov Alexandr Fedorovich – doctor of science, corresponding member of the RAS. The scientific chief of Institute of Precision Mechanics and Control of RAS (Saratov).
Tel.: (8452)22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Kushnikov Vadim Alekseevich – doctor of science, professor. Director of Institute of Precision Mechanics and Control of RAS (Saratov).
Tel.: (8452)22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Ivaschenko Vladimir Andreevich – doctor of science, senior scientific employee. Institute of Precision Mechanics and Control of RAS (Saratov).
Tel.: (8452)22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Фоминых Дмитрий Сергеевич – канд. техн. наук. Институт проблем точной механики и управления РАН (Саратов).
Тел.: 8-917-201 -77-58
E-mail: dm_fominyh@mail.ru

Fominykh Dmitry Sergeevich – candidate of science. Institute of Precision Mechanics and Control of RAS (Saratov).
Tel.: 8-917-201-77-58
E-mail: dm_fominyh@mail.ru

Богомолов Алексей Сергеевич – канд. физ.-мат. наук, доцент. Институт проблем точной механики и управления РАН (Саратов).
Тел.: (8452) 22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Bogomolov Aleksei Sergeevich – candidate of science, docent. Institute of Precision Mechanics and Control of RAS (Saratov).
Tel.: (8452)22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Филимонюк Леонид Юрьевич – канд. техн. наук. Институт проблем точной механики и управления РАН (Саратов).
Тел.: (8452) 22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru

Filimonyuk Leonid Yurjevich – candidate of science. Institute of Precision Mechanics and Control of RAS (Saratov).
Tel.: (8452)22-23-40
E-mail: iptmuran@san.ru