



МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НЕПРЕРЫВНЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹

Ч. 2. Продукционные модели представления знаний в системах поддержки принятия решений

А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, П. Г. Михайлова

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Для решения задач управления безопасностью химических производств предложено применять системы поддержки принятия решений. Разработаны продукционные правила и модели представления знаний в таких системах.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение промышленной безопасности современных химических производств является важной проблемой. В работах [1–3] предложен качественно новый единый подход к ее решению, предполагающий применение новых информационных технологий, методов системного анализа и методологии анализа риска. Он охватывает обеспечение промышленной и экологической безопасности природно-промышленных комплексов на всех стадиях жизненного цикла в режимах нормального функционирования и в случае аварии. Авторами сформулированы задачи управления промышленной и экологической безопасностью и развита методология анализа риска и управления безопасностью химических производств. Предложены принципы создания интегрированных автоматизированных систем управления (ИАСУ) химическими предприятиями и разработана функциональная структура ИАСУ безопасностью химических производств. Одной из функциональных подсистем ИАСУ является система поддержки принятия решений (СППР) по управлению промышленной безопасностью химических производств [1].

Нами разработаны теоретические основы создания СППР и предложены следующие модели для решения задач управления безопасностью химических производств:

— продукционные правила и модели представления знаний для оперативного управления безопасностью не-

прерывными химико-технологическими процессами и системами в целях предотвращения отказов и аварийных ситуаций;

— экспертные модели принятия решений по оперативному и долгосрочному управлению безопасностью химико-технологическими системами (ХТС) и химическим предприятием в целом на стадиях функционирования, реконструкции, модернизации и проектирования на основе многокритериальных функций предпочтения;

— нечеткие логические модели принятия оперативных и долгосрочных решений, направленных на повышение безопасности технологического оборудования с опасными химическими веществами [2].

В настоящей статье рассмотрены продукционные модели для оперативного управления безопасностью непрерывных ХТС на различных стадиях возникновения и развития аварии и уровнях управления безопасностью [4]. Выбор продукционных моделей представления знаний и разработки системы логического вывода на их основе для различных состояний управления безопасностью ХТС в СППР обоснован, исходя из нижеследующего.

При решении задач оперативного управления безопасностью химико-технологическими процессами (ХТП) и системами необходимо использовать и обрабатывать большие массивы информации о технологических параметрах процессов, состоянии ХТП и т. п. Поэтому при создании СППР ИАСУ безопасностью химических производств требуется единство форм представления и обработки информации для широких классов задач, а не отдельно взятых технологических процессов.

¹ Часть 1 «Управление в условиях неопределенности» см. в № 6, 2006 г., с. 50–56.

Так, для представления знаний в СППР нами не применялась модель «нечеткого регулятора» для управления химико-технологическими процессами [5]. Это связано с тем, что при данной модели для каждого ХТП необходимо синтезировать свой алгоритм управления. Такой подход дает хорошие результаты при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами, но вряд ли целесообразен в рассматриваемых СППР ввиду многочисленного разнообразия химико-технологических процессов. В этом смысле обучение и настройка одной или двух нейронных сетей на множестве технологических параметров процессов для оперативного управления безопасностью ХТП представляются более целесообразными [4], а при создании базы знаний в СППР системы управления безопасностью непрерывных ХТС применение продукционных моделей является более простым способом представления знаний.

Предложенный в настоящей работе подход к управлению безопасностью непрерывных ХТС с помощью СППР заключается в том, что для каждого типового оборудования, в котором могут возникнуть и развиваться аварийные ситуации, строятся логико-графические модели управления безопасностью, в соответствии с которыми разрабатываются продукционные правила и модели представления знаний и логического вывода для экспертных систем СППР интегрированных автоматизированных систем управления безопасностью химических производств.

Для формализованного представления знаний в СППР предложено формировать две группы продукционных правил с использованием лингвистических переменных: первая — для управления безопасностью на стадиях возникновения отказов и аварийных ситуаций, вторая — в предаварийном режиме.

1. ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛЯХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Первая группа продукционных правил и моделей представления знаний соответствует формализованному описанию управляющих воздействий, направленных на предотвращение отказов (первый уровень управления безопасностью) или аварийных ситуаций (второй уровень управления безопасностью) на l -й установке в результате отклонения технологических параметров процессов от нормы. Данная группа правил и моделей включает в себя:

— соотношения (1)–(14) — см. далее — для формирования представления знаний о контролируемых и регулируемых технологических параметрах процессов и управляющих воздействиях;

— соотношения (15)–(21) — процедуру логического вывода для различных состояний ХТП.

Рассмотрим первую группу соотношений.

Для каждого c -го контролируемого и регулируемого параметра технологического процесса (x_c^l , $c = \overline{1, C}$; C — общее число контролируемых и регулируемых технологических параметров), отклонения которого могут привести к возникновению o -го отказа или к развитию o -го отказа в j -ю аварийную ситуацию, необходимо опреде-

лить управляющие воздействия по предотвращению возникновения o -го отказа (\bar{u}_{oo}^l , $oo = \overline{1, O}$) или по предотвращению возникновения j -й аварийной ситуации на l -й установке (\bar{u}_{jo}^l , $jo = \overline{1, J}$) в зависимости от уровня управления безопасностью в виде продукционной модели

$$\forall c : M_c \equiv [x_c^l \rightarrow \bar{u}_{oo}^l] \quad (1)$$

или

$$\forall c : M_c \equiv [x_c^l \rightarrow \bar{u}_{jo}^l] \quad (2)$$

и сформулировать продукционные правила для каждого c -го контролируемого и регулируемого технологического процесса одного из следующих видов.

Правило 1. Если значение c -го технологического параметра на l -й установке x_c^l — «норма», то значения управляющих воздействий \bar{u}_{oo}^l или \bar{u}_{jo}^l — «поддерживать на установленных технологическим регламентом значениях «норма» или «не изменять».

Правило 2. Если значение c -го технологического параметра процесса на l -й установке x_c^l — «отклонение от нормы», то значения управляющих воздействий \bar{u}_{oo}^l или \bar{u}_{jo}^l — «изменить».

По существу, отклонение значения c -го технологического параметра процесса от нормы означает, что этот технологический параметр может быть неопределенным (θ_c^l), а причинами отклонения может быть возникновение в системе отказов или аварийных ситуаций:

$$\forall c : M \equiv (x_c^l \notin X^l \rightarrow x_c^l \equiv \theta_c^l, \theta_c^l \notin X^l), \quad (3)$$

где X^l — область допустимых значений технологических параметров процессов на l -й установке.

Для формализованного представления знаний в СППР введем следующие обозначения лингвистических переменных, описывающих контролируемые, регулируемые и управляющие переменные, характеризующие состояние ХТП и управление безопасностью: N — «норма»; L — «ниже нормы»; V — «выше нормы»; VD — «выше нормы, допустимо»; LD — «ниже нормы, допустимо»; LA — «ниже нормы, не допустимо»; VA — «выше нормы не допустимо»; ZA — заданное значение для срабатывания аварийной защиты.

Обозначим управляющие воздействия по управлению безопасностью: PU — «увеличить»; PD — «уменьшить»; P — «переключить»; R — «регулировать» в заданном диапазоне; MPU — «сильно увеличить»; LPU — «немного увеличить»; LPD — «немного уменьшить»; MPD — «сильно уменьшить»; N — «поддерживать в заданном диапазоне (не изменять)»; CH — «изменить».

С учетом принятых обозначений отклонение c -го технологического параметра от нормы

$$x_c^l = \neg N \Leftrightarrow x_c^l = \theta_c^l, \quad (4)$$

где $\theta_c^l \notin X^l$.

Продукционные модели для правил 1 и 2 запишем в виде:

$$\forall c : M_c \equiv [(x_c^l = N) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = N) \wedge (\bar{u}_{jo}^l = N)], \quad (5)$$



или

$$\forall c : M_c \equiv [(x_c^l = \neg N) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = CH) \vee (\bar{u}_{jo}^l = CH)]. \quad (6)$$

Значение любого контролируемого или регулируемого технологического параметра x_c^l ($c \in C$) «отклонение от нормы» может принимать одно из следующих значений: «выше нормы» или «ниже нормы», которые, в свою очередь, могут быть «выше нормы, допустимо», «ниже нормы, допустимо», «ниже нормы, не допустимо», «выше нормы, не допустимо», что в формализованной системе описания запишем так:

$$M_1 \equiv [x_c^l = \neg N \rightarrow x_c^l = V \vee L], \quad (7)$$

$$M_2 \equiv [x_c^l = V \rightarrow x_c^l = VD \vee VA], \quad (8)$$

$$M_3 \equiv [x_c^l = L \rightarrow x_c^l = LD \vee LA] \quad (9)$$

или

$$M_4 \equiv [x_c^l = \neg N \rightarrow x_c^l = VD \vee LD \vee LA \vee VA]. \quad (10)$$

Модели M_1 – M_3 эквиваленты модели M_4 .

Управляющее воздействие «изменить» может принимать одно из значений: «увеличить», «уменьшить», «сильно увеличить», «немного увеличить», «сильно уменьшить» и «немного уменьшить». В формализованной системе описания запишем эти продукционные модели для каждого из управляющих воздействий \bar{u}_{oo}^l или \bar{u}_{jo}^l :

$$M_5 \equiv [(\bar{u}_{oo}^l = CH) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = PU \vee PD)], \quad (11)$$

$$M_6 \equiv [(\bar{u}_{jo}^l = CH) \rightarrow (\bar{u}_{jo}^l = PU \vee PD)], \quad (12)$$

$$M_7 \equiv [(\bar{u}_{oo}^l \vee \bar{u}_{jo}^l) \rightarrow PD \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l \vee \bar{u}_{jo}^l) = (LPD \vee MPD)], \quad (13)$$

$$M_8 \equiv [(\bar{u}_{oo}^l \vee \bar{u}_{jo}^l) \rightarrow PU \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l \vee \bar{u}_{jo}^l) = (LPU \vee MPU)]. \quad (14)$$

Приведем пример формализованного описания переменных в СППР системы управления безопасностью ХТС с помощью предложенных продукционных моделей (1)–(14). Запишем в виде продукционной модели такое правило:

Если температура (x_1^l) сырьевого потока — «выше нормы», то «увеличить расход» водяного пара, подаваемого на распыл сырья u_{oo}^l :

$$M_9 \equiv [x_1^l = \neg N \rightarrow x_1^l = V \vee L],$$

$$M_{10} \equiv [x_1^l = V \rightarrow x_1^l = VD \vee VA],$$

$$M_{11} \equiv [(x_1^l = \neg N) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = CH)],$$

$$M_{12} \equiv [(x_1^l = VD) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = CH)],$$

$$M_{11} \equiv [(\bar{u}_{oo}^l = CH) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = PU \vee PD)].$$

На основании моделей вида (1)–(14) формируются более сложные модели логического вывода в экспертных системах СППР систем управления безопасностью химических производств.

Процедура логического вывода с помощью продукционных правил заключается в том, чтобы сформировать управляющее воздействие \bar{u}_{oo}^l или \bar{u}_{jo}^l для каждого k -го состояния ХТП:

$$\forall k : M_k \equiv [z_k \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l \vee \bar{u}_{jo}^l)], \quad (15)$$

где $z_k = [\bar{x}_c^l]$ — k -е состояние ХТП, характеризуемое вектором значений c -х контролируемых и регулируемых параметров, принимающих значения «норма» или «отклонение от нормы».

Так, продукционная модель логического вывода для управления безопасностью ХТП формируется на основе правил вида.

Правило 3. Если значения всех контролируемых и регулируемых технологических параметров процессов на l -й установке для k -го состояния ХТП ($\bar{x}_c^l, \forall c = \overline{1, C}$) —

«норма», то состояние $z_k = [\bar{x}_c^l]$ — «норма».

Правило 4. Если состояние z_k — «норма», то значения управляющих воздействий \bar{u}_{oo}^l или \bar{u}_{jo}^l — «поддерживать на установленный технологическим регламентом значения «норма» или «не изменять».

Правило 5. Если значения одного или нескольких c -х контролируемых или регулируемых технологических параметров процессов — «отклонение от нормы», то состояние z_k — «отклонение от нормы».

Правило 6. Если z_k — «отклонение от нормы», то значения управляющих воздействий \bar{u}_{oo}^l или \bar{u}_{jo}^l , направленные на регулирование неопределенных технологических параметров процессов ($x_{c'}^l = \neg N \Leftrightarrow x_{c'}^l = \theta_{c'}^l, \theta_{c'}^l \notin X^l, c' \in C$), — «изменить».

Запишем эти правила в виде продукционной модели логического вывода.

Для правил 3 и 4 (k -е состояние — «норма»):

$$\forall k : M_k \equiv [(\bar{x}_c^l = N) \rightarrow (z_k = N)], \quad (16)$$

$$\forall k : M_k \equiv [(z_k = N) \rightarrow (\bar{u}_{oo}^l = N) \wedge (\bar{u}_{jo}^l = N)]. \quad (17)$$

Для правила 5 (k -е состояние ХТП — «отклонение от нормы» для одного технологического параметра процесса):

$$\forall k : M_k \equiv [((x_1^l \vee x_2^l \vee \dots \vee x_c^l) = \neg N) \rightarrow z_k = \neg N],$$

$$c = \overline{1, C}; \quad c \subset k \quad (18)$$

или k -е состояние ХТП — «отклонение от нормы» для нескольких технологических параметров процесса:

$$\forall k : M_k \equiv [((x_1^l \wedge x_2^l \wedge \dots \wedge x_{c'}^l) = \neg N) \wedge (x_{c''}^l \wedge \dots \wedge x_c^l) = N \rightarrow z_k = \neg N], \quad (19)$$

$$c = \overline{1, c'}; \quad c = \overline{c'', C}; \quad c \in C, \quad c' \in C, \quad c'' \in C,$$

$$c \subset k, \quad c' \subset k, \quad c'' \subset k,$$

где c' — число контролируемых и регулируемых технологических параметров процессов, для которых наблюдаются отклонения значений от нормы;

для правила 6 — поиска управляющих воздействий, направленных на предотвращение возникновения отказов — запишем:

$$\forall k : M_k \equiv [(z_k = \neg N) \rightarrow ((u_1^l \vee u_2^l \vee \dots \vee u_{o'}^l = CH) \wedge \wedge (u_{o''}^l \wedge \dots \wedge u_{o'''}^l) = N)] \quad (20)$$

или для поиска управляющих воздействий, направленных на предотвращения возникновения аварийной ситуации:

$$\forall k : M_k \equiv [(z_k = \neg N) \rightarrow ((u_1^l \vee u_2^l \vee \dots \vee u_{j'}^l = CH) \wedge \wedge (u_{j''}^l \wedge \dots \wedge u_{j'''}^l) = N)]. \quad (21)$$

В выражении (20) $oo = \overline{1, o'}$ — число управляющих воздействий, которые необходимо изменить для управления безопасностью с целью приведения отклонений значений c' -х технологических параметров, вызванных o -м технологическим отказом, к допустимым значениям, остальные же значения управляющих воздействий ($oo = \overline{o'', o'''}$) — следует не изменять, а поддерживать в заданных регламентом пределах. В выражении (21) $jo = \overline{1, j'}$ — число управляющих воздействий, которые необходимо изменить для управления безопасностью с целью приведения отклонений c' -х значений технологических параметров, вызванных возникновением j -й аварийной ситуации от o -го отказа, к допустимым значениям, значения остальных управляющих воздействий ($j = \overline{j'', j''}$) следует не изменять, а поддерживать в заданных регламентом пределах.

Значения контролируемых и регулируемых технологических параметров процессов, соответствующие «отклонению от нормы» в формализованной системе представления знаний описываются соотношениями (9) или (10), а управляющие воздействия, направленные на регулирование недопустимых отклонений значений технологических параметров процессов описываются с помощью продукционной модели (11)—(14).

Соотношения (15)—(21) представляет собой продукционную модель логического вывода в СППР в целях предотвращения возникновения отказов и аварийных ситуаций.

На основании предложенной модели (15)—(21) запишем пример формализованного представления системы логического вывода для следующих продукционных правил.

Правило 7. Если температуры x_1^l и x_2^l в прямооточной зоне реактора — «выше нормы» и температура сырья потока x_3^l — «норма», то состояние ХТП — «отклонение от нормы».

Правило 8. Если состояние ХТП — «отклонение от нормы», характеризуемое значениями контролируемых и регулируемых технологических параметров (см. правило 7), то «поддерживать перепад давления в заданном регламентом диапазоне» u_1^l и «увеличить расход водяного пара» u_2^l .

Соответствующая продукционная модель имеет вид:

$$M_{14} \equiv [((x_1^l \wedge x_2^l) = \neg N) \wedge (x_3^l = N) \rightarrow z_k = \neg N],$$

$$z_k = [x_1^l = \neg N, x_2^l = \neg N, x_3^l = N],$$

$$M_{15} \equiv [((x_1^l \wedge x_2^l) = \neg N) \rightarrow (x_1^l \wedge x_2^l) = (V \vee L)],$$

$$M_{16} \equiv [((x_1^l \wedge x_2^l) = V) \rightarrow (x_1^l \wedge x_2^l) = (VD \vee VA)],$$

$$M_{17} \equiv [((x_1^l \wedge x_2^l) = \neg N) \rightarrow (\bar{u}_2^l = CH)],$$

$$M_{18} \equiv [(x_3^l = N) \rightarrow (u_1^l = N)],$$

$$M_{19} \equiv [(z_k = \neg N) \rightarrow (u_2^l = CH) \wedge (u_1^l = N)],$$

$$M_{20} \equiv [(u_2^l = CH) \rightarrow (u_2^l = PU \vee PD)],$$

$$M_{21} \equiv [(u_2^l = PU) \rightarrow (u_2^l = LPU)].$$

Аналогичные продукционные правила и продукционные модели логического вывода записываются для всех k -х состояний ХТП, характеризующих условия принятия решений по управлению безопасностью ХТС.

2. ПРОДУКЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕДАВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Для формализованного описания управляющих воздействий на следующем уровне управления безопасностью с целью недопущения развития аварии с выходом за пределы технологического аппарата и блока путем включения системы аварийного взрывоподавления, аварийного останова и блокировки оборудования предложена вторая группа продукционных моделей представления знаний и логического вывода (соотношения (22)—(30)).

Состояние системы в этом случае характеризуется предаварийными значениями контролируемых и регулируемых технологических параметров \bar{x}_c^l процессов и значениями управляющих воздействий \bar{u}_{jo}^l — «отклонение от нормы, недопустимо», принимающих, соответственно, значения «выше нормы, недопустимо» или «ниже нормы, недопустимо». Это состояние ХТП в системе формализованного составления описания представления знаний в СППР назовем «отклонение от нормы, недопустимо» (z_k^a). В этом случае предусмотрено оперативное срабатывание автоматической системы противоаварийной защиты, а в случае ее несрабатывания необходимо вручную инициировать включение противоаварийной системы в определенной последовательности действий. Включение системы противоаварийной защиты обозначим через VK — «включить».

Для формализованного описания срабатывания автоматической системы противоаварийной защиты вводится дополнительная переменная t — время с момента обнаружения технологической неполадки. Ее значение может превышать или не превышать заданное значение ZA — времени срабатывания автоматической системы противоаварийной защиты.

Задача оперативного принятия решений по управлению безопасностью в предаварийном режиме заключа-



ется в том, чтобы для предаварийного состояния ХТП, характеризуемого значением «отклонение от нормы, недопустимо», определить управляющие воздействия \bar{u}_{ji}^l , направленные на включение системы противоаварийной защиты на l -й установке:

$$M_k^a \equiv [z_k^a \rightarrow \bar{u}_{ji}^l] \quad (22)$$

Здесь и далее буквой «а» — обозначен признак, относящийся к предаварийной ситуации.

Запишем продукционные правила логического вывода в предаварийном режиме.

Правило 9. Если значения одного или нескольких контролируемых и регулируемых с-х технологических параметров процессов — «отклонение от нормы, недопустимо» и значение хотя бы одного из управляющих воздействий «отклонение от нормы, недопустимо», то состояние ХТП «отклонение от нормы, недопустимо» (z_k^a).

Правило 10. Если состояние ХТП — «отклонение от нормы, недопустимо» и время с момента обнаружения неполадки не превышает установленное значение, то включить автоматическую систему противоаварийной защиты и осуществить последовательность управляющих воздействий \bar{u}_{ji}^l , направленных на аварийный останов и блокировку оборудования l -го ХТП.

Правило 11. Если состояние ХТП — «отклонение от нормы, недопустимо» и время с момента обнаружения неполадки превышает установленное значение и автоматическая система противоаварийной защиты не сработала, то необходимо вручную осуществить последовательность управляющих воздействий \bar{u}_{ji}^l по отключению, останову и блокировке l -й технологической установки.

Запишем правила 9—11 в виде продукционной модели (23)—(30):

$$M_k^a \equiv [(x_1^l \vee x_2^l \vee \dots \vee x_c^l) = \neg N) \wedge (u_{1o}^l \vee u_{2o}^l \vee \dots \vee u_{jo}^l = \neg N) \rightarrow z_k^a = \neg N],$$

$$c = \bar{1}, \bar{C}; c \subset k, \quad (23)$$

$$\forall c : M_c \equiv [x_c^l = \neg N) \rightarrow x_c^l = (LA \vee VA)], \quad (24)$$

$$M_{22} \equiv [(\bar{u}_{jo}^l = \neg N) \rightarrow (u_{jo}^l = (LA \vee VA))], \quad (25)$$

$$M_k^a \equiv [(z_k^a = \neg N) \wedge (t \leq ZA) \rightarrow (\bar{u}_{ji}^l = VK)]. \quad (26)$$

При срабатывании автоматической системы противоаварийной защиты в ней определен перечень всех управляющих воздействий, которые надо сильно увеличить или уменьшить, переключить, регулировать в заданном диапазоне:

$$M_k^a \equiv [(\bar{u}_{ji}^l = VK) \rightarrow ((u_{1i}^l \wedge u_{2i}^l \wedge \dots \wedge u_{ji}^l) = ((LPD \vee MPD) \vee (LPU \vee MPU))) \wedge ((u_{(j'+1)i}^l \wedge \dots \wedge u_{j''i}^l) = P) \wedge (u_{(j'+1)i}^l \wedge \dots \wedge u_{ji}^l) = R)]. \quad (27)$$

Здесь индекс $j = \bar{1}, \bar{j}'$ — относится к управляющим воздействиям, которые надо сильно увеличить или уменьшить; $j = \bar{j}'+1, \bar{j}''$ — относится к управляющим воздействиям, связанным с переключениями; $j = \bar{j}''+1, \bar{J}$ —

к управляющим воздействиям, которые необходимо поддерживать в заданном регламентом диапазоне. Индекс i — относится к возможным факторам риска, на предотвращение возникновения которых или смягчение тяжести которых направлена предлагаемая система управляющих воздействий по управлению безопасностью ХТС [4].

При несрабатывании автоматической системы противоаварийной защиты:

$$M_k^a \equiv [(z_k^a = \neg N) \wedge (t > ZA) \wedge (\bar{u}_{ji}^l = \neg VK) \rightarrow (\bar{u}_{ji}^l = CH)], \quad (28)$$

$$M_k^a \equiv [(\bar{u}_{ji}^l = CH) \rightarrow (u_{1i}^l = P) \wedge (u_{2i}^l = P) \wedge \dots \wedge (u_{j''i}^l = P) \wedge (u_{(j''+1)i}^l \wedge \dots \wedge u_{ji}^l) = R]. \quad (29)$$

В выражении (29) управляющие воздействия представляют собой последовательность действий по аварийному останову и блокировке оборудования l -го ХТП, которые осуществляются в соответствии со следующей моделью:

$$M_{k1}^a \equiv [(\bar{u}_{ji}^l = CH) \rightarrow (u_{1i}^l = P)],$$

$$M_{k2}^a \equiv [(u_{1i}^l = P) \rightarrow (u_{2i}^l = CH)],$$

$$M_{k3}^a \equiv [(u_{2i}^l = CH) \rightarrow (u_{2i}^l = P)], \quad (30)$$

$$M_{k4}^a \equiv [(u_{2i}^l = P) \rightarrow (u_{3i}^l = CH)],$$

$$\dots$$

$$M_{kj''}^a \equiv [(u_{j''i}^l = CH) \rightarrow (u_{j''i}^l = P)].$$

Соотношения (22)—(30) представляют собой продукционную модель представления знаний для принятия решений по оперативному управлению безопасностью ХТП в предаварийном режиме.

Для обеспечения безопасности непрерывных химико-технологических систем при принятии технологических и организационно-технических решений на данном и последующем уровнях управления безопасностью с целью снижения тяжести последствий аварий [4] может быть применен подход к принятию решений на основе формирования нечетких логических описаний и систем нечеткого логического вывода [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье рассмотрены принципиально новые модели и методы решения задач оперативного управления безопасностью непрерывных ХТС на различных стадиях возникновения и развития аварийных ситуаций с использованием продукционных моделей в СППР интегрированных АСУ безопасностью химических производств. Данный класс моделей позволяет структурировано представить знания специалистов и опыт эксплуатации химически опасных объектов в экспертных системах и как способ формализации знаний является наиболее простым и интуитивно понятным для разработчиков этих систем.

В отличие от традиционных подходов к управлению безопасностью химико-технологических процессов продукционные модели применимы для решения широкого класса задач, а не отдельно взятых технологических процессов. Тем не менее, для каждой установки требуется

разработать десятки производственных правил. Поэтому авторами ведется поиск более компактных и эффективных способов представления знаний в экспертных системах СППР для управления безопасностью химических производств. Предложено в качестве моделей представления знаний о возникновении, развитии аварийной ситуации и способах противоаварийной защиты в СППР управления безопасностью использовать фреймы. Кроме того, предложен принципиально новый алгоритм на основе математического аппарата нечетких сетей Петри, предназначенный для многошагового принятия решений по управлению безопасностью непрерывных технологических процессов в условиях неполноты информации об управляемом объекте. Полученные результаты исследований авторы надеются опубликовать в последующих номерах журнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. — М.: Химия, КолосС, 2004. — 416 с.

2. Савицкая Т. В., Егоров А. Ф. Управление безопасностью химических производств с использованием методов искусственного интеллекта // Методы кибернетики химико-технологических процессов: Сборник докладов VI Междунар. науч. конф. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2004. — С. 66—76.
3. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В. Системный анализ, оценка риска и управление безопасностью производств химической и смежных отраслей промышленности // Химическая технология. — 2002. — № 10. — С. 14—22.
4. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Михайлова П. Г. Модели и методы решения задач оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических систем. Ч. 1. Управление в условиях неопределенности // Проблемы управления. — 2005. — № 6. — С. 50—56.
5. Кафаров В. В., Дорохов И. Н., Марков Е. П. Системный анализ процессов химической технологии. Применение метода нечетких множеств. — М.: Наука, 1986. — 359 с.

☎ (499) 973-39-37, 978-24-41

E-mail: egorov@muctr.edu.ru

savitsk@muctr.edu.ru



Новая книга

Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / В. В. Кульба, Е. А. Микрин, Б. В. Павлов, В. Н. Платонов; под ред. Е. А. Микрина; Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. — М.: Наука, 2006. — 579 с.

Бурное развитие космонавтики, начиная со второй половины XX в., открыло перспективы решения многих стоящих перед человечеством проблем. Космические технологии оказывают влияние на экономику, науку, культуру и военный потенциал государства.

К XXI в. космическая техника выдвинулась за пределы государственных границ, превратившись в глобальную деятельность человечества. Так, в конце прошлого века началось строительство на околоземной орбите международной космической станции (МКС), в создании которой, кроме России и США, участвуют страны Европы, Канада и Япония.

Надежность и эффективность создания современных космических аппаратов (КА) определяется качеством информационно-управляющих систем (ИУС), включающих в себя бортовой комплекс управления (БКУ), экипаж (для пилотируемых КА) и наземный комплекс управления (НКУ).

Опыт, полученный при создании и эксплуатации первых КА, показал, что диагностика функционирования бортовых систем, обработка потоков информации наземными службами, принятие решений по управлению и передача на борт КА управляющих воздействий предъявляют быстро растущие требования к ресурсам бортовых вычислительных систем (к памяти и быстродействию).

Космическая техника стимулировала развитие микроэлектроники и построенных на ее основе современных управляющих и вычислительных средств. Однако практическое применение этих новых аппаратных средств оказалось эффективным только после разработки программного обеспечения (ПО), учитывающего многие особенности систем, включая систему управления движением и навигацией, составляющих вместе с НКУ и экипажем большую и сложную систему.

Разработка надежного ПО космических систем по своей трудоемкости и стоимости оказалась соизмеримой с затратами на создание аппаратных средств.

Среди всех космических программ нового века самой сложной по техническим и экономическим параметрам является МКС, которая представляет собой огромное по составу систем и размерам сооружение. Она базируется на БКУ, ядром которого являются сетевая бортовая вычислительная система и интегрированная с Американским сегментом система управления движением и навигацией.

Программное обеспечение БКУ не имеет аналогов среди отечественных и зарубежных космических аппаратов, как по масштабам, так и по многообразию решаемых задач. Объем программного обеспечения МКС возрос в десятки раз по сравнению с объемом современных КА при одновременно резком увеличении логической сложности решаемых задач, что потребовало нового комплексного подхода к самой технологии (методам и средствам) его создания. Сложность разработки ПО для МКС состояла и в том, что наряду с традиционными для КА задачами управления движением и навигацией все задачи управления и контроля бортовых систем (БС) были реализованы в едином БКУ. Важной особенностью управления БС является программное управление резервированием. Сложная логика управления избыточностью требует проведения коммутации соответствующих схем и элементов строго по циклограммам управления, поэтому программное обеспечение БКУ не только анализирует числовые значения контрольных величин, но и задает и контролирует временные соотношения в ходе выполнения полетных задач.

Создание ПО усложнялось также большим числом внешних связей как с цифровыми абонентами, так и с получателями релейных команд. При разработке программного обеспечения БКУ было сложно достигнуть корректности алгоритмов столь большого комплекса управления, поэтому для интеграции отдельных программ в единый комплекс требуется строгая дисциплина их разработки и отладки.

Предлагаемая вниманию специалистов книга является примером системного рассмотрения основных проблем создания ИУС космических аппаратов. На основе единой методологии авторами разработаны методы и средства формализации, алгоритмы и программы проектирования оптимальных модульных систем обработки данных реального времени, реализация которых обеспечивает синтез программного и информационного обеспечения бортового и наземного комплексов управления космических аппаратов, их комплексную отработку и испытание.

Авторы показали, каким образом теоретические основы процесса разработки программного обеспечения ИУС находят практические решения.

Результаты проведенных исследований были использованы в качестве организационных, методических и технических решений при создании бортовых комплексов управления МКС и других космических аппаратов. Успешная реализация космических программ доказывает исключительную практическую ценность предлагаемого научного труда.

Академик РАН Б. Е. Черток