

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

Ч. 1. Управление в условиях неопределенности

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

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

Предложен подход к созданию многоуровневых систем управления промышленной безопасностью химических производств на всех стадиях возникновения и развития аварии, базирующийся на методологии анализа риска и методах искусственного интеллекта. Дана постановка задачи оптимального оперативного управления промышленной безопасностью химико-технологических систем в условиях неопределенности и предложен метод ее решения на основе нейросетевых моделей.

ВВЕДЕНИЕ

Современные химические производства являются серьезными источниками техногенной опасности для человека и окружающей среды. Различают три подхода к обеспечению промышленной безопасности химических производств:

- традиционный, базирующийся на основах охраны труда и производственной безопасности;
- технологический, состоящий в разработке экологически безопасных высоконадежных химических производств на основе интеллектуальных систем автоматизированного проектирования;
- информационно-управляющий, состоящий в разработке автоматизированных систем диагностики неисправностей и управления эксплуатационной надежностью, с привлечением, в частности, методов искусственного интеллекта [1–4].

Указанные подходы не решают проблему создания систем управления безопасностью сложными иерархическими химическими производствами, функционирующими в условиях неопределенности.

Существующий уровень организации систем управления безопасностью химических производств значительно отстает от научно-технических достижений в области создания распределенных систем управления безопасностью в других отраслях промышленности (ядерной энергетике, машиностроении). Функциональные возможности распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами для

обеспечения безопасности используются не полностью и ориентируются на автоматические системы блокировки и пожарозащиты. Недостаточно используются возможности новых информационных технологий для анализа производственных опасностей, оценки риска и управления безопасностью химических производств.

Авторами [5] предложен качественно новый подход к управлению безопасностью химических производств (ХП), предложена функциональная структура интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ) безопасностью и развиты теоретические основы анализа и оценки риска химических производств [5–9].

Настоящая статья посвящена разработке моделей и методов для решения задач управления промышленной безопасностью химических производств. Предложен принципиально новый подход к созданию многоуровневых систем управления промышленной безопасностью химических производств на всех стадиях возникновения и развития аварии с учетом специфических особенностей различных классов химически опасных объектов, базирующийся на методологии анализа риска и методах искусственного интеллекта.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Задачи управления безопасностью охватывают как оперативное управление безопасностью на разных уровнях иерархии химических производств, так и принятие долгосрочных управляющих решений, связанных с их

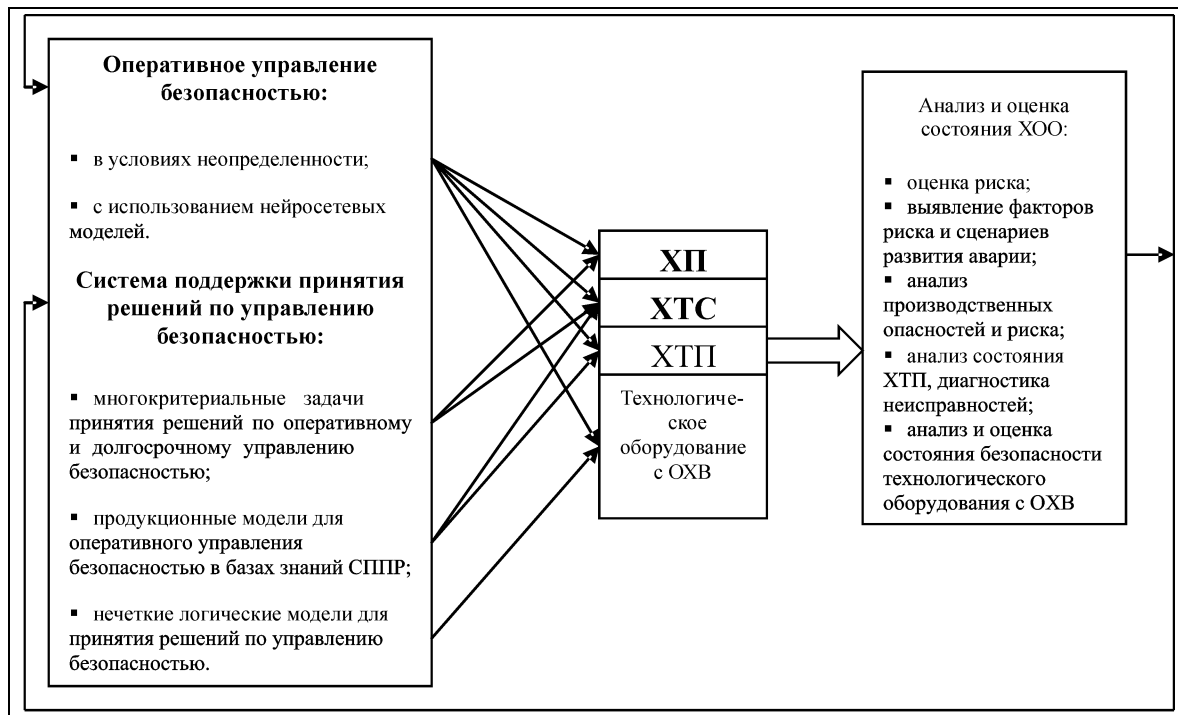


Рис. 1. Структура системы оценки и управления промышленной безопасностью химических производств

проектированием, реконструкцией и модернизацией с учетом риска и внутренней безопасности химически опасных объектов.

Нами рассматриваются следующие химически опасные объекты:

- крупнотоннажные непрерывно действующие установки химических производств;
- периодические химические производства;
- технологическое оборудование с газообразными или сжиженными опасными химическими веществами емкостного и трубопроводного типов, расположенное на территории химических предприятий.

Для указанных объектов предложена классификация задач управления безопасностью химических производств и разработаны модели и методы для решения следующих задач, представленных на рис. 1:

- оперативного управления безопасностью химико-технологических систем (ХТС) и ХП в условиях неопределенности;
- оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических процессов (ХТП) и систем в целях предотвращения возникновения отказов и аварийных ситуаций с помощью нейросетевых и продукционных моделей;
- многокритериального принятия решений по оперативному и долгосрочному управлению безопасностью ХТС и ХП на стадиях функционирования, реконструкции и модернизации с помощью системы поддержки принятия решений (СППР);
- принятия оперативных и долгосрочных решений, направленных на повышение безопасности технологического оборудования с опасными химическими веществами (ОХВ) на основе теории нечетких множеств.

Каждый класс химически опасных объектов характеризуется различными причинами возникновения ава-

рийных ситуаций и особенностями их развития по многоуровневым сценариям. Поэтому, в зависимости от объекта исследований, в системе управления безопасностью предложено рассматривать несколько уровней управления, причем уровни развития аварии не всегда совпадают с уровнями управления безопасностью. Направленность управляющих воздействий может быть как локальной (на устранение одной причины), так и общей, нацеленной на устранение однотипных ситуаций или факторов риска или на снижение различных последствий аварий в результате реализации одного или совокупности управляющих воздействий.

На каждом уровне управления безопасностью для различных аварийных ситуаций необходимо осуществить комплекс управляющих воздействий, направленных на устранение причин и на снижение тяжести последствий.

Предлагается следующая классификация управляющих воздействий в СППР системы управления безопасностью химических производств, согласно которой они могут быть:

- независимыми (например, по устранению различных возможных причин аварии, которые не могут возникнуть одновременно); они могут быть направлены как на устранение различных аварийных ситуаций (в технологическом оборудовании), так и на устранение различных причин, приводящих к одной аварийной ситуации (в непрерывно действующих установках);
- зависимыми — когда одно действие определяет последовательность выполнения других действий;
- однонаправленными — когда одно и то же действие направлено на устранение типовой аварийной ситуации или типового фактора риска, которые могут возникнуть на различном технологическом оборудовании

или в производственном помещении (для периодических производств);

— комбинированные — когда одни действия могут выполняться независимо от других, но общее управляющее решение должно быть найдено как объединение действий, реализуемых независимо.

Кроме того, по своему характеру управляющие воздействия могут быть долгосрочными (на стадии проектирования и реконструкции), плановыми (профилактика оборудования и планово-предупредительные ремонты) и оперативными.

В настоящей статье предлагается решение следующих задач управления безопасностью химических производств:

— оптимального оперативного управления промышленной безопасностью ХТС в условиях неопределенности;

— оперативного управления безопасностью непрерывных ХТП и ХТС в целях предотвращения возникновения отказов и аварийных ситуаций с помощью нейросетевых моделей.

Рассмотрим эти задачи.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Задача оперативного управления безопасностью химико-технологических систем заключается в своевременном выявлении (идентификации) производственных опасностей и осуществлении управляющих воздействий, направленных на устранение причин, вызвавших возникновение отказов в системе, предотвращение развития отказов в аварийные ситуации и предотвращение дальнейшего развития аварийных ситуаций. Эта задача является типичной задачей управления безопасностью в условиях неопределенности, для анализа которой предложено разрабатывать логико-графические модели. На рис. 2 представлен пример такой модели.

Неопределенности связаны, прежде всего, с причинами, приводящими к отказам: проектно-конструкционного и производственно-изготовительного характера \bar{P}_r^l ($r = \overline{1, R'}$ — общее число таких причин), организационно-техническими общего характера \bar{P}_{tz}^l (наруше-

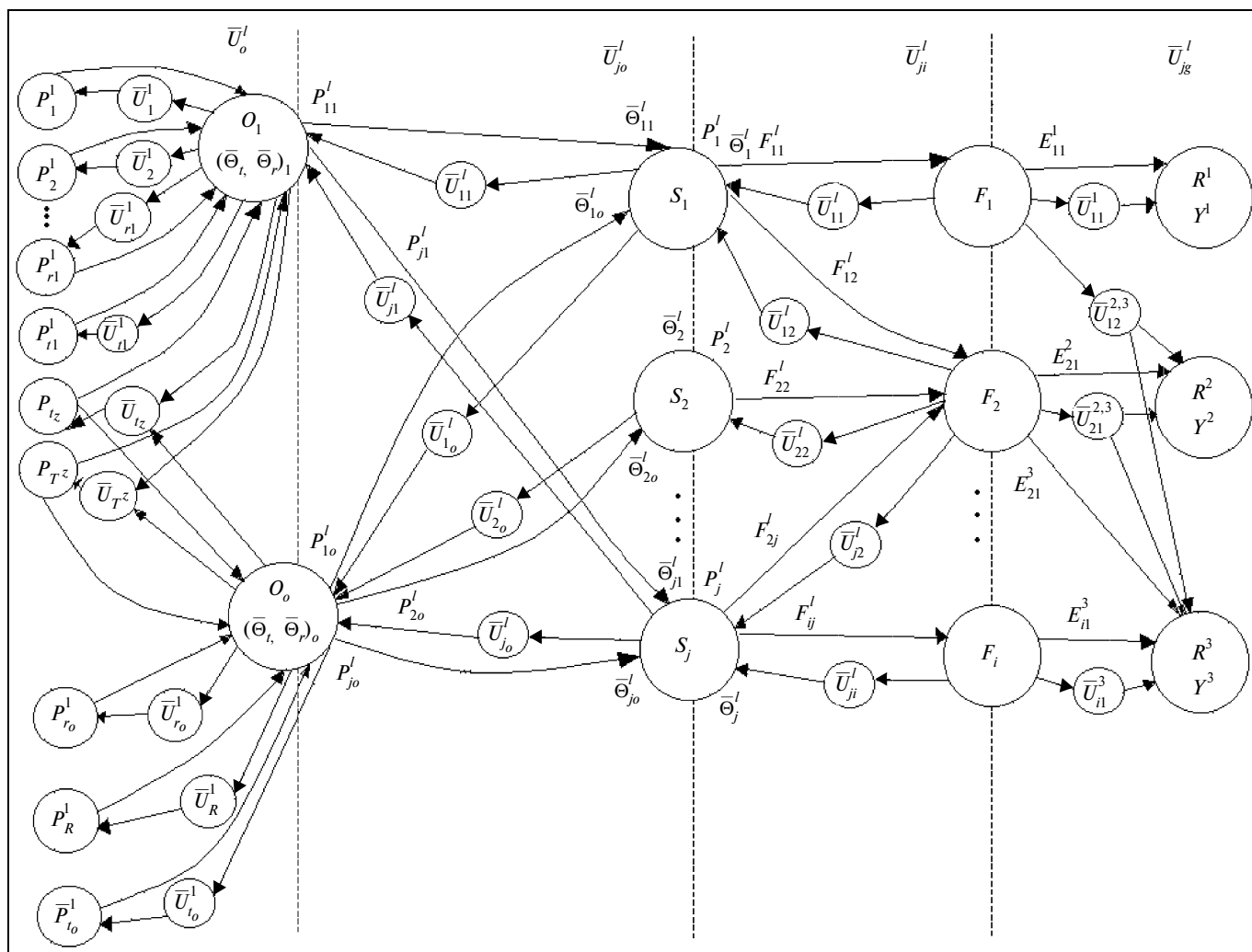


Рис. 2. Логико-графическая модель для управления безопасностью ХТС в условиях неопределенности



ние работы систем водо-, тепло- и электроснабжения и т. п.) ($t_z = \overline{1, T}$ — общее число таких причин), эксплуатационно-технологическими причинами для конкретной установки \overline{P}_t^l ($t = \overline{1, T}$ — общее число таких причин). Здесь приняты следующие обозначения: P — вероятности возникновения отказа по той или иной причине; индекс l относится к установке (ХТС); z — к организационно-техническим причинам. Так как причины, приводящие к отказу, многовариантны, неопределённость заключается в том, какая именно из этих причин привела (может привести) к данному o -му отказу ($O_o, o = \overline{1, O^l}$, где O^l — число отказов на l -й установке). Кроме того, управление безопасностью связано с неопределённостью развития отказа в аварийную ситуацию S_j , с неопределённостью, к какой аварийной ситуации приведет отказ ($S_1 \vee S_2 \vee \dots \vee S_j$) и по какому именно сценарию будет развиваться данная аварийная ситуация, приводящая к i -му фактору риска (F_i — вероятности возникновения i -го фактора риска), и его дальнейшему развитию с вероятностями E_{ig}^k , приводящему к k -му виду риска R^k или ущерба $Y^k, k = \overline{1, 3}$ (экономическому, экологическому, социальному).

Специфика управления безопасностью непрерывных производств заключается в необходимости учета особенностей протекания и ведения отдельных технологических процессов. Отклонения технологических параметров от регламентных значений могут привести к возникновению неопределенных технологических параметров θ_c^l :

$$\forall c = \overline{1, C} : A \equiv (x_c^l \notin X^l \rightarrow x_c^l \equiv \theta_c^l, \theta_c^l \notin X^l), \quad (1)$$

где C — число неопределенных технологических параметров процессов, A — сложное логическое высказывание, x_c^l — входные переменные (технологические параметры процессов), X^l — область допустимых значений технологических параметров процессов на l -й установке.

Причинами отклонений технологических параметров θ_c , могут быть как собственно технологические ($\overline{\theta}_t$), так и другие (производственно-изготовительные и проектно-конструкционные ($\overline{\theta}_r$)) отказы (см. рис. 2). Таким образом, для любого o -го отказа ($\overline{\theta}_c$)^T = [$\overline{\theta}_t, \overline{\theta}_r$], $t = \overline{1, T^o} \cup \overline{1, T^z}$, $o = \overline{1, O^l}$. Возникновение неопределенных технологических параметров может привести к аварийной ситуации.

Перечисленные неопределенности должны быть учтены при разработке моделей оперативного управления и принятия решений по управлению безопасностью химических производств.

Задача управления безопасностью должна решаться для каждой ХТС путем анализа всех возможных o -х отказов и j -х аварийных ситуаций, которые могут возникнуть на l -й установке, и сценариев их развития (см. рис. 2). В соответствии с этим процесс управления безопасностью ХТС заключается в реализации последовательно четырех основных стадий управления:

- управление по ликвидации причин, вызвавших отказ (\overline{u}_{oo}^l);
- управляющие воздействия по предотвращению развития отказа в аварийную ситуацию (\overline{u}_{jo}^l);
- предотвращение цепного развития аварийной ситуации, приводящей к возникновению факторов риска (\overline{u}_{ji}^l);
- предотвращение многоуровневого развития аварии по g -му сценарию, приводящему к k -му виду риска (\overline{u}_{ig}^l).

Таким образом, вектор управляющих воздействий по предотвращению возникновения аварии на l -й установке и ее дальнейшего развития запишем следующим образом:

$$\begin{aligned} (\overline{u}^l)^T &= [\overline{u}_{oo}^l, \overline{u}_{jo}^l, \overline{u}_{ji}^l, \overline{u}_{ig}^l], \\ oo &= \overline{1, O^m}, \quad O^m = (\overline{1, T^u}) \cup (\overline{1, T^z}) \cup (\overline{1, R^u}), \\ jo &= \overline{1, J}, \quad ji = \overline{1, N^u}, \quad ig = \overline{1, G^u}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\overline{u}_{oo}^l = [\overline{u}_{t_o}^l, \overline{u}_{t_z}^l, \overline{u}_{r_o}^l]$, — вектор управляющих воздействий, включающий в себя:

- управляющие воздействия ($\overline{u}_{t_z}^l, t_z = \overline{1, T^z}$), направленные на предупреждение (предотвращение) возникновения o -го отказа на l -й установке, вызванного организационно-техническими причинами z общего характера (нарушение работы систем водо-, тепло- и электроснабжения и т. п.);

- управляющие воздействия ($\overline{u}_{t_o}^l, t_o = \overline{1, T^u}$), направленные на предупреждение (предотвращение) возникновения o -го отказа на l -й установке, вызванного эксплуатационно-технологическими причинами; размерность вектора управляющих воздействий для устранения технологических причин возникновения o -го отказа $t_o = \overline{1, T^u}$, а общее число соответствующих управ-

ляющих воздействий $T^u = \sum_{o=1}^{O^l} t_o^u$;

- управляющие воздействия $\overline{u}_{r_o}^l, r_o = \overline{1, R^u}$, направленные на предупреждение (предотвращение) возникновения o -го отказа на l -й установке, вызванного проектно-конструкционными или производственно-изготовительными причинами. В выражении (2) O^m — общее число управляющих воздействий, направленных на предотвращение возникновения отказа по всем причинам; J — общее число управляющих воздействий по локализации j -й аварийной ситуации; N^u — общее число управляющих воздействий, направленных на локализацию факторов риска (поражающих факторов) в результате возникновения и развития j -й аварийной ситуации; G^u — число управляющих воздействий, направленных на предотвращение развития аварии от i -го фактора по g -му сценарию.

Задача оперативного управления безопасностью ХТС должна решаться в случае отклонения хотя бы одного значения технологических параметров процессов из области допустимых значений X^l , т. е. при появлении в

системе управления безопасностью ХТП хотя бы одного неопределенного технологического параметра процесса.

Формализованная постановка задачи оптимального оперативного управления безопасностью ХТС в условиях неопределенности, т. е. предотвращения возникновения отказов и аварийных ситуаций и их развития, приводящих к k -му виду риска R_{jg}^{kl} может быть сформулирована как задача минимизации ущербов k -го вида (Y_{jg}^{kl}) в результате аварии на данной установке при обеспечении приемлемого (допустимого) значений k -х видов рисков (3а) или, в отдельных случаях, превышающих предельно допустимый уровень какого-либо вида риска (3б):

$$(\bar{u}^l)^* = \text{Arg} \min_{(\bar{u}^l \in U^l} \{ Y_{jg}^{kl}(\bar{x}^l, \bar{\theta}_c^l, \bar{d}^l, \bar{F}_n^l) | Y_{jg}^{kl} \times \\ \times (\bar{x}^l, \bar{\theta}_c^l, \bar{d}^l, \bar{F}_n^l) \in \Omega^l \}, \quad (3)$$

$$j = \overline{1, M^l}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{1, N}; \quad g = \overline{1, G}; \\ n = \overline{1, N^l}; \quad c = \overline{1, C}; \quad c \leq N_x^l$$

при

$$R_{jg}^{kl} = f(\bar{P}_{jg}, \bar{u}^l) < 10^{-6}, \\ k = \overline{1, K}; \quad j = \overline{1, M^l}, \quad g = \overline{1, G} \quad (3a)$$

или

$$\begin{cases} R_{jg}^{kl} = f(\bar{P}_{jg}, \bar{u}^l) > 10^{-6}, k = \overline{1, K'} \\ R_{jg}^{kl} = f(\bar{P}_{jg}, \bar{u}^l) < 10^{-6}, k = \overline{1, K-K'} \end{cases} \quad (3b) \\ j = \overline{1, M^l}, \quad g = \overline{1, G}$$

$$\bar{x}^l \in X^l; \quad \bar{d}^l \in D^l; \quad \bar{\theta}_c^l \notin X^l, \quad (\bar{u}^l)^* \in U^l, \quad (3b)$$

где G — число возможных сценариев развития аварии; K — виды риска (экономический, экологический, социальный); Ω^l — состояние ХТС при возникновении аварии на l -й установке; U^l — область допустимых управляющих воздействий по управлению безопасностью в результате возникновения и развития аварийной ситуации на l -й установке; X^l и D^l — области допустимых значений входных и конструктивных переменных; N_x^l — общая размерность вектора входных переменных (\bar{x}_c^l) на l -й установке; C — число неопределенных технологических параметров процессов (см. выражение (1)); M^l — число j -х аварийных ситуаций, которые могут возникнуть на l -й установке; N^l — число поражающих факторов для g -го сценария развития аварии ($N^l \subset N$, где N — общее число поражающих факторов при аварии; $\bar{F}_n^l \subset F_i, i = \overline{1, N}$ (см. рис. 2)); \bar{P}_{jg} — обобщенный вектор вероятностей возникновения неблагоприятных событий при возникновении j -й аварийной ситуации и ее развития по g -му сценарию (определяется на основании обработки зависимостей по потокам отказов через ведущие функции потоков отказов, вероятности возникновения j -х аварийных ситуаций от o -х отказов P_{jo} и управляющих воздействий, принятых на первом и втором уровнях управления безопасностью $\bar{u}_{oo}^l, \bar{u}_{jo}^l$ (см. рис. 2)).

Минимизация возможного ущерба (3) от аварийной ситуации в общем случае достигается путем реализации управляющих воздействий $(\bar{u}^l)^*$, обеспечивающих:

- поддержание в заданных диапазонах значений входных переменных системы — технологических параметров процессов (\bar{x}^l) на l -й установке, обеспечиваемых заданными значениями конструктивных параметров (\bar{d}^l) (соотношение (3в)) и предотвращение их выхода за пределы установленных регламентом значений (1) с целью недопущения возникновения j -й аварийной ситуации;
- уменьшение числа неопределенных технологических параметров процесса и их отклонений, связанных с возникновением и развитием отказов и аварийных ситуаций, способных привести к дальнейшему их развитию;
- уменьшение числа поражающих факторов различного вида и масштабов их воздействий.

Оптимизируемыми переменными в задаче оптимального управления безопасностью ХТС (3)—(3в) являются компоненты вектора управляющих воздействий \bar{u}^l (см. соотношение (2)) — при управлении безопасностью на всех уровнях возникновения и развития аварийной ситуации.

Варьируемыми переменными в данной постановке задачи оптимального управления безопасностью ХТС являются: значения технологических параметров \bar{x}_c^l

процессов или их отклонения $\bar{\theta}_c^l$ от допустимых значений (см. выражение (1)), число неопределенных технологических параметров c процесса, число j аварийных ситуаций и сценариев g развития j -й аварийной ситуации, число n поражающих факторов, число видов риска k , которые могут возникнуть при развитии j -й аварийной ситуации по g -му сценарию от n -х поражающих факторов аварии на l -й установке.

Проведенный нами анализ задачи оптимального оперативного управления безопасностью показал, что она должна решаться для каждого сценария развития аварийной ситуации. Число управляющих воздействий составляет один-два десятка для каждого аппарата (блока), и решение множества задач оптимального оперативного управления безопасностью традиционными методами оптимизации нецелесообразно. Более эффективно применение методов искусственного интеллекта — нейронных сетей, продукционных и нечетких логических моделей. Рассмотрим метод на основе нейронных сетей.

3. НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Для оперативного управления безопасностью непрерывных ХТП предлагается использовать два типа рекуррентных нейронных сетей: сеть Элмана [10] — для прогнозирования состояния технологических процессов по результатам управляющих воздействий в предшествующий момент времени и сеть Джордана — для расчета управляющих воздействий, направленных на предотвращение отказов и аварийных ситуаций, по текущим значениям входных переменных — контролируемых и регулируемых технологических параметров и управляющих воздействий, в предшествующий момент времени.

В сети Джордана [11] (рис. 3), выходы нейронных элементов последнего слоя соединены посредством специальных входных нейронов с нейронами скрытого

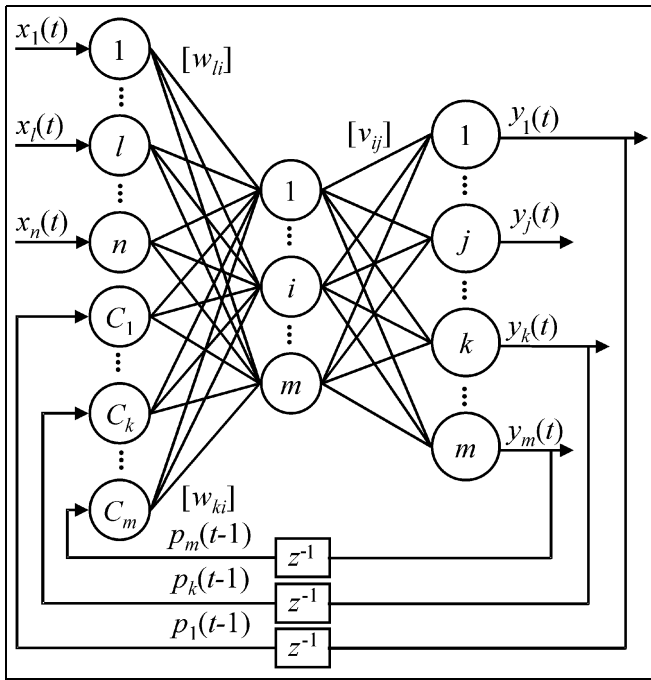


Рис. 3. Архитектура рекуррентной нейронной сети с обратными связями от нейронов выходного слоя:
 z^{-1} — элемент задержки; C_k — контекстный нейрон

слоя, называемыми контекстными нейронами. Контекстные нейронные элементы распределяют выходные нейронные элементы сети на нейронные элементы скрытого слоя. Число контекстных нейронов равно числу выходных нейронных элементов рекуррентной сети. В качестве выходного слоя таких сетей используются нейронные элементы с линейной функцией активации. Выходное значение j -го нейронного элемента выходного слоя

$$y_j(t) = \sum_{i=1}^m v_{ij} p_i(t) - T_j,$$

где v_{ij} — весовой коэффициент между i -м нейроном скрытого и j -м нейроном выходного слоя; $p_i(t)$ — выходное значение i -го нейрона скрытого слоя; T_j — пороговое значение j -го нейрона выходного слоя.

$$S_i(t) = \sum_{l=1}^n w_{li} x_l(t) + \sum_{k=1}^m w_{ki} y_k(t-1) - T_i,$$

где w_{li} — весовой коэффициент между l -м нейронным элементом входного слоя и i -м нейроном скрытого слоя, m — число нейронов выходного слоя, w_{ki} — весовой коэффициент между k -м контекстным нейроном и i -м нейроном скрытого слоя, T_i — пороговое значение i -го нейрона скрытого слоя, n — размерность входного вектора. Выходное значение i -го нейрона скрытого слоя $p_i(t) = F(S_i(t))$. В качестве функции нелинейного преобразования $F(S_i(t))$ обычно используется гиперболический тангенс или сигмоидная функция.

Другая архитектура рекуррентной нейронной сети (сети Элмана) [10] представлена на рис. 4. В такой ней-

ронной сети выходы нейронных элементов скрытого слоя соединяются с контекстными нейронами входного слоя. Взвешенная сумма i -го нейронного элемента скрытого слоя

$$S_i(t) = \sum_{r=1}^n w_{ri} x_r(t) + \sum_{k=1}^m w_{ki} p_k(t-1) - T_i,$$

где w_{ri} — весовой коэффициент между r -м нейронным элементом входного слоя и i -м нейронным элементом скрытого слоя, n — число элементов входного слоя, m — число нейронов скрытого слоя; w_{ki} — весовой коэффициент между k -м контекстным нейроном и i -м нейронным элементом скрытого слоя, $p_k(t-1)$ — выходное значение k -го нейрона скрытого слоя. Выходное значение k -го нейрона скрытого слоя $p_k(t-1) = F(S_k(t-1))$.

Для управления безопасностью ХТП непрерывно действующих установок химических производств предложены две нейросетевые модели. В первой из них используется архитектура нейронной сети Джордана (см. рис. 3). Эта модель имеет вид:

$$[y_1(t), \dots, y_k(t), \dots, y_m(t)]^T = f(x_1(t), \dots, x_l(t), \dots, x_n(t), C_1, \dots, C_k, \dots, C_m), \quad k = \overline{1, m}; \quad l = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где $[X]^T = [x_1(t), \dots, x_l(t), \dots, x_n(t), C_1, \dots, C_k, \dots, C_m]$ — вектор входных значений нейронной сети — контролируемых и регулируемых технологических параметров процесса $x_l(t)$ в момент времени t и значения управляющих воздействий C_k в предшествующий момент времени $(t-1)$; $[Y]^T = [y_1(t), \dots, y_k(t), \dots, y_m(t)]$ — вектор выходных значений нейронной сети — управляющих воздействий в момент времени t . Таким образом, в процессе управления безопасностью с помощью нейросетевой модели (4) в каждый момент времени на выходе нейронной сети рассчитываются управляющие воздействия на объект с целью предотвращения отказа и его развития в аварийную ситуацию.

Во второй модели используется архитектура нейронной сети Элмана (с м. рис. 4). Эта модель предназначена для прогнозирования изменения состояния технологических параметров процессов по результатам управляющих воздействий в предшествующий момент времени и имеет вид:

$$[y_1(t), \dots, y_j(t), \dots, y_l(t)]^T = f(x_1(t), \dots, x_r(t), \dots, x_n(t), C_1, \dots, C_k, \dots, C_m), \quad j = \overline{1, l}; \quad k = \overline{1, m}; \quad r = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $[X]^T = [x_1(t), \dots, x_r(t), \dots, x_n(t), C_1, \dots, C_k, \dots, C_m]$ — вектор входных значений нейронной сети — контролируемых и регулируемых технологических параметров процесса $x_r(t)$ на входе в систему в момент времени t и значений управляющих воздействий C_k в предшествующий момент времени $(t-1)$; $[Y]^T = [y_1(t), \dots, y_j(t), \dots, y_l(t)]$ — вектор выходных значений нейронной сети — контролируемых и регулируемых технологических параметров процесса $y_j(t)$ в момент времени t на выходе из системы.

Таким образом, в процессе управления безопасностью ХТП с помощью нейросетевой модели (5) на выходе нейронной сети рассчитывают значения контролируемых и регулируемых технологических параметров процессов на входе и на выходе из системы (например, реактора или узла смешения) как результат управляю-

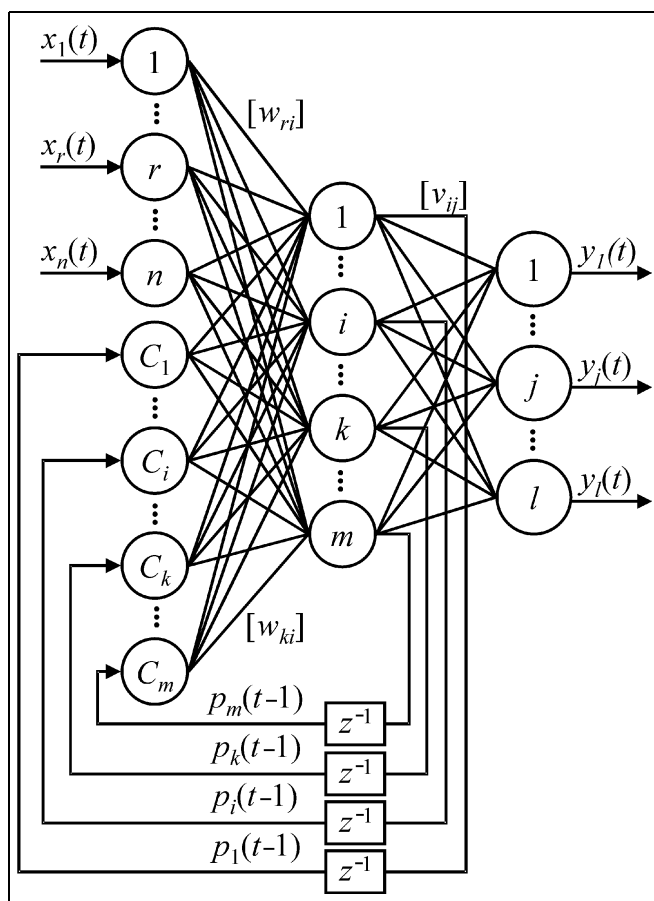


Рис. 4. Архитектура рекуррентной нейронной сети с обратными связями от нейронов скрытого слоя

щих воздействий, принятых в предшествующий момент времени $t - 1$, направленных на предотвращение возникновения технологических нарушений и отклонений неопределенных технологических параметров (см. выражение (1)), приводящих к отказам. А обученная нейронная сеть генерирует управляющие воздействия по результатам оценки правильности управляющих воздействий, принятых на предыдущем шаге, и входным переменным нейронной сети в момент времени t .

Полученные по результатам управляющих воздействий в предшествующий момент времени с помощью нейросетевой модели Элмана значения контролируемых и регулируемых технологических параметров процессов в случае их нарушения могут быть оперативно с помощью программно-технических средств супервизорного управления и распределенной базы данных ИАСУ безопасностью [5, 6] переданы на вход сети Джордана с целью выработки управляющих воздействий по предотвращению отказов и аварийных ситуаций.

Полученные с помощью нейросетевой модели Джордана управляющие воздействия, направленные на предотвращение и предупреждение возникновения отказов, используются в качестве предикторов и подаются в качестве входных значений в автоматизированные системы управления технологическими процессами, реализуемые программно-техническими средствами супервизорного управления на основе SCADA-систем. В результате в режиме реального времени оперативно с опережением

можно предотвратить возникновение отказов и аварийных ситуаций.

Предложенные для оперативного управления безопасностью ХТП в режиме реального времени нейросетевые модели на основе рекуррентных нейронных сетей решают задачи предотвращения возникновения отказов и аварийных ситуаций на первом и втором уровнях управления безопасностью (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в настоящей статье подход и рассмотренные методы и модели охватывают лишь часть задач управления безопасностью химических производств (см. рис. 1). В развитие данных исследований во второй части статьи будут рассмотрены производственные модели представления знаний в системах поддержки принятия решений для оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических систем на различных стадиях развития аварии и уровнях управления безопасностью с целью предотвращения возникновения аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Обеспечение* и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин, Г. Грун, В. Нойман. — М.: Химия, 1987. — 272 с.
2. *Надежность* систем управления химическими производствами / Б. В. Палюх, Г. М. Притыка, В. Л. Перов, Ю. Д. Эдельштейн, В. Л. Кришнев. — М.: Химия, 1987. — 178 с.
3. *Палюх Б. В.* Основы построения и разработки автоматизированной системы управления эксплуатационной надежностью химических производств: Автореф. ... дис. д-ра техн. наук. — МХТИ им. Д. И. Менделеева. — М., 1991. — 32 с.
4. *Богатиков В. Н.* Диагностика состояний и управление технологической безопасностью непрерывных химико-технологических процессов на основе дискретных моделей: Автореф. ... дис. д-ра техн. наук. — Тверской гос. техн. ун-т. — Апатиты, 2002. — 39 с.
5. *Егоров А. Ф., Савицкая Т. В.* Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. — М.: Химия, КолосС, 2004. — 416 с.
6. *Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Богатиков В. Н.* Система управления безопасностью химических производств // Проблемы охраны окружающей среды и природных ресурсов. — 2000. — № 12. — С. 96—110.
7. *Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Филиппова Г. В.* Современное состояние в области анализа, оценки и управления риском при чрезвычайных ситуациях техногенного характера, связанных с авариями на промышленных объектах // Экологическая экспертиза. Обзорная информация ВИНТИ. — 2002. — № 1. — 160 с.
8. *Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Макарова А. С.* Разработка моделей оценки риска для предприятий химической промышленности // Химическая промышленность. — 1998. — № 7. — С. 55—63.
9. *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.
10. *Elman J.* Finding structure in time // Cognitive Science. — 1990. — Vol. 14. — P. 179—211.
11. *Jordan M.* Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine // Proc. of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society. — Hillsdale: Erlbaum, 1986. — P. 531—546.

☎ (095) 978-39-37, 978-24-41

E-mail: egorov@muctr.edu.ru

