

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Стратегию управления промышленной безопасностью региона необходимо строить на основе метасистемного подхода. При этом решается шесть задач, суть которых значительно отличается от описанных ранее в литературе. Особенности решения этих задач и посвящена работа.

Термин «промышленная безопасность» появился сравнительно недавно. Ранее все, что стоит за этим понятием, относилось к охране труда. «Переходным» термином можно считать технику безопасности. Изменение названий в данном случае влечет за собой изменение сущности, так как меняется объект исследования, управления, наконец, объект, на который направлена деятельность в области промышленной безопасности.

Промышленная безопасность – это область науки и техники, изучающая причины возникновения, закономерности проявления и развития, методы и средства превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера, сопровождающимися значительным ущербом [1].

Основная деятельность в области промышленной безопасности должна сводиться к мероприятиям, выявляющим и предотвращающим природные и техногенные проявления, приносящие вред здоровью общества либо экономические, материальные потери, и, естественно, она должна быть сознательной, оптимально управляемой.

С точки зрения управления процессами необходимо иметь «датчики» информации о состоянии опасных промышленных объектов и «рычаги (каналы)» управляющих воздействий на выявленные опасности промышленного характера.

Схема системы управления уровнем безопасности, о необходимости которой известно давно [2], изображена на рисунке 1. В отличие от упомянутой работы она носит не комплексный, а метасистемный и даже матричный [3] характер, то есть состоит из нескольких довольно независимых между собой систем – отдельных предприятий и объектов в одном направлении и нескольких уровней иерархии управления (уровней предприятия, опасного объекта, опасных мест и технологий повышения безопасности) в другом. В качестве «датчиков» информации для принятия решения использу-

ется достаточно развитый сегодня институт экспертизы опасных промышленных объектов.

Управляющие же воздействия ввиду явной иерархичности процесса управления будут разными в зависимости от уровня. На верхних уровнях воздействия будут в основном экономическими, на нижних уровнях они сводятся к техническим мероприятиям и режимам (технологиям повышения безопасности).

Метасистемный характер управления требует решения шести задач [4]. Применительно к управлению промышленной безопасностью смысл этих задач кардинально меняется:

1) выявление условий и границ диапазонов значений факторов, при которых возникает опасность от того или иного промышленного объекта;

2) разработка стратегии направления управляющих воздействий на наиболее опасные объекты;

3) определение объемов и последовательности мероприятий (а также их проведение), снижающих опасность конкретного объекта (в соответствии с выбранной стратегией);

4) выявление общих аспектов опасности объектов с целью оптимизации набора снижающих опасность технологий;

5) оптимальное перераспределение ресурсов между объектами с одинаковым рангом опасности;

6) ограничение общего количества объектов, влекущих наибольшую опасность.

С помощью экспертизы выявляется на уровне региона ранжированный ряд опасных предприятий, на уровне предприятия – ранжированный ряд опасных объектов и сооружений, на уровне опасных объектов – ранжированный ряд опасных мест, и, самое главное, этот ряд увязывается с диапазоном значений факторов, в которых опасность от конкретного объекта повышается до предельной. Это необходимо для построения многомерного пространства, в котором конкретные условия в регионе будут давать изображающую точку (или некоторую область вокруг этой точки в силу приблизи-

тельности многих оценок), по движению которой может быть спрогнозирована стратегия направления управляющих воздействий.

Сама стратегия должна определять моменты переключения управленческого внимания, а также количество опасных объектов, принимаемых во внимание на каждом промежутке времени. При этом для ее разработки может использоваться метод, отличающийся от вышеописанного, что приведет к соответствующему изменению первой задачи метасистемного подхода.

Третья задача, решаемая при метасистемном подходе к управлению уровнем промышленной опасности в регионе, диаметрально противоположна обычному подходу, когда система, входящая в метасистему, заранее готовилась к использованию (включению) [5]. В данном случае все мероприятия направлены как раз на отстранение опасного объекта от попадания в зону управления. Следовательно, критерий оптимизации, разработанный в [5] в виде разности плотностей вероятности потребности в системе и готовности ее к использованию, меняется на разность плотности вероятности (ω), что внешние и внутренние неуправляемые параметры выведут данный объект на предел опасности, и веро-

ятности (ω_1) того, что проводимые мероприятия «уведут» его от этого

$$s = \omega - \omega_1. \quad (1)$$

Понятно, что новый критерий должен максимизироваться в отличие от известного. Данный критерий требует даже прекращения эксплуатации опасного промышленного объекта при достижении им критического значения.

Таким образом, возникает задача поддержания низкого уровня опасности объекта за счет различных мероприятий, несмотря на изменение неуправляемых параметров.

Внешним (возмущающим) процессом при управлении является резкое изменение таких параметров, как ресурс опасного объекта, неблагоприятная экологическая, экономическая обстановка, соседство с другими опасными, и некоторых других, описываемых вектором X . Считая этот процесс марковским, воспользуемся уравнением Колмогорова с правой частью:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial \omega}{\partial X} - \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} = f(t), \quad (2)$$

где a – коэффициент сноса;

b – коэффициент диффузии;

$f(t)$ – возмущающее воздействие.

Для адекватного функционирования метасистема, включающая набор средств сни-

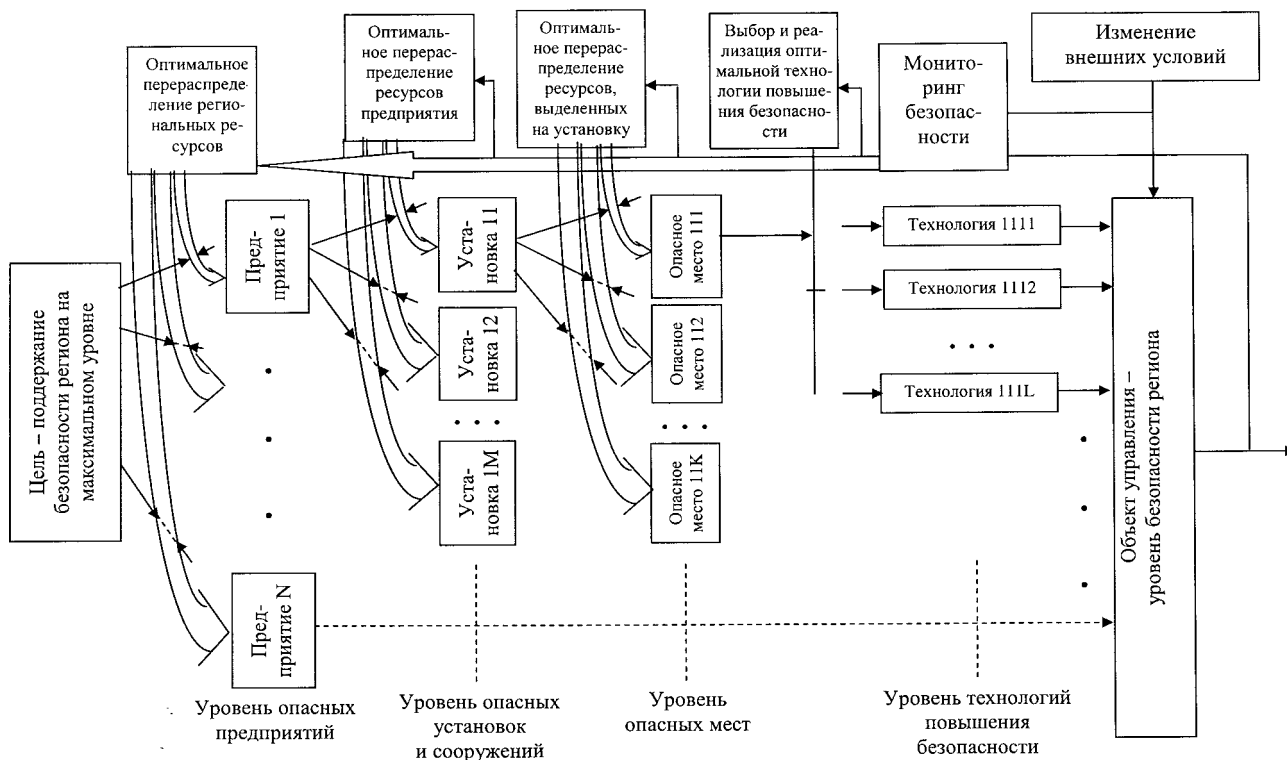


Рисунок 1. Система управления уровнем безопасности региона

жения риска аварии, должна подчиняться тому же уравнению, что и внешний процесс (для адекватного реагирования), с добавлением в правой части управляющего воздействия – $u(X,t)$. Самостоятельность метасистемы выражается не только в появлении управляющих воздействий, но и в другой величине плотности вероятности, которая отражает вероятность приближения риска аварии к недопустимой границе – ω_1 . Таким образом, уравнение (2) преобразуется к следующему виду:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} + a(X,t) \frac{\partial \omega_1}{\partial X} - \frac{b(X,t)}{2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial X^2} = f(t) + u(X,t), \quad (3)$$

Принимая, что оба процесса подвергаются одинаковым возмущениям, и подставляя сюда вместо $f(t)$ его выражение из уравнения (2), после приведения подобных членов, получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial t} + a(X,t) \frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial X} - \\ - \frac{b(X,t)}{2} \frac{\partial^2(\omega - \omega_1)}{\partial X^2} = u(X,t). \end{aligned} \quad (4)$$

Используя (1), преобразуем уравнение (4) к следующему виду

$$\frac{\partial s}{\partial t} + a(X,t) \frac{\partial s}{\partial X} - \frac{b(X,t)}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial X^2} = u(X,t). \quad (5)$$

Теперь можно сформулировать задачу оптимизации.

В качестве критерия оптимальности можно было бы принять сумму потерь от малой разности двух вероятностей и затрат на рискоснижающие мероприятия, которые можно оценивать в соответствии с [5] с помощью виртуальной работы управляющих воздействий:

$$A(\sigma) = \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^{\infty} u(X,\tau) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}} dXd\tau. \quad (6)$$

В данном случае принят закон распределения Гаусса с дисперсией σ для вероятности отклонения потребности от среднего значения. Однако в этом случае приходим к вырожденным уравнениям Эйлера, которые не позволяют определить минимум.

Примем в соответствии с теорией аналитического конструирования оптимальных регуляторов, предложенной профессором Летовым А.М. [6], в качестве критерия оптимальности сумму квадратов потерь, зависящих от разности

вероятностей (1) и затрат управляющих воздействий:

$$F = \int_0^{\tau} (u^2 - qs^2) dt \rightarrow \min, \quad (7)$$

где q – размерный коэффициент.

В такой постановке задача оптимизации включает критерий (7), уравнение (5) с соответствующим начальным и граничными значениями, играющее роль некоторых условий, обязательных к выполнению. Кроме того, в зависимости от времени начала рискоснижающих мероприятий по отношению к возникающей возможности повышения опасности меняется интенсивность проведения этих мероприятий и соответственно затраты на управление. Это означает, что имеет место задача с подвижной верхней границей, а значит, на этой границе должно выполняться условие трансверсальности экстремалей функционала (7) кривой, по которой скользит верхняя граница.

Таким образом, сформулированная задача позволяет определить оптимальный закон изменения управляющих воздействий, направляемых на поддержание вероятности повышения опасности на приемлемом уровне во времени и в зависимости от изменения внешних условий.

Данная задача оптимизации относится к классу задач на условный экстремум и сводится к классическому случаю с помощью одного множителя Лагранжа λ :

$$F_1 = \int_0^{\tau} (u^2 - qs^2 + \lambda \left(\frac{ds}{dt} + a \frac{\partial s}{\partial X} + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial X^2} - u \right)) dt \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для нахождения экстремалей данного функционала составляем три уравнения Эйлера:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial s} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{s}} &= 0; \\ \frac{\partial f}{\partial u} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{u}} &= 0; \\ \frac{\partial f}{\partial \lambda} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{\lambda}} &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где f – подынтегральное выражение функционала (8). Здесь точка сверху символа означает производную по времени.

Выполняя дифференцирование, имеем:

$$\begin{aligned} -2qs - \frac{d\lambda}{dt} &= 0; \\ 2u + \lambda &= 0; \\ \frac{ds}{dt} + a \frac{\partial s}{\partial X} + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial X^2} - u &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Сюда же добавляем условия трансверсальности на подвижной верхней границе функционала [7]

$$(f + (\phi - \dot{s})f'_s)|_{t=\tau} = 0, \quad (11)$$

где ϕ – уравнение кривой, по которой скользит верхний предел функционала. Здесь штрих сверху символа означает дифференцирование по параметру, приведенному в качестве нижнего индекса.

Для использования этого условия необходимо знать зависимость разности вероятностей s от интенсивности проведения рисковнижающих мероприятий. Очевидно, что чем выше эта интенсивность (обусловленная резким изменением условий), тем больше вероятность того, что подготовительные мероприятия в срок не завершатся. Поэтому примем указанную зависимость в первом приближении линейной.

С другой стороны, необходимо знать, как интенсивность проведения рисковнижающих мероприятий зависит от времени. Понятно, что чем больше времени на проведение мероприятий, тем интенсивность их проведения ниже. И наоборот, она возрастает до бесконечности, если время на их проведение приближается к нулю. Следовательно, окончательную зависимость можно принять гиперболической:

$$\phi = k \frac{A}{\tau}, \quad (12)$$

где k – коэффициент пропорциональности, а виртуальная работа A вычисляется по формуле (6).

Теперь можно провести вычисления по формуле (11). Они дают:

$$\{u^2 - qs^2 + \lambda(\frac{ds}{dt} + a \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - u) + (-k \frac{A}{\tau^2} - \frac{ds}{dt})\lambda\}|_{t=\tau} = 0. \quad (13)$$

С помощью второго уравнения (10) можно исключить λ из дальнейших выкладок, а третье уравнение, как уравнение экстремали, обязательное к выполнению везде, а значит и на границе диапазона изменения t , упрощает уравнение (13):

$$\{u^2 - qs^2 + (-k \frac{A}{\tau^2} - \frac{ds}{dt})\lambda\}|_{t=\tau} = 0. \quad (14)$$

Из этого уравнения можно определить оптимальное время τ , необходимое на рисковсохраняющие мероприятия.

Производя все необходимые подстановки в третье уравнение (10), получаем:

$$\frac{1}{q} \frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{a}{q} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \frac{b}{2q} \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} - u = 0. \quad (15)$$

Четвертая задача имеет особое значение в связи с унификацией средств повышения промышленной безопасности. При отыскании опасностей одинакового или близкого характера в разных и многих объектах можно оптимизировать арсенал средств, отработать и сделать их высоконадежными. Тем самым можно экономить средства на дорогостоящих, но редко используемых технологиях.

Пятая задача посвящена одному из самых важных вопросов – об оптимальном перераспределении финансовых, материальных и кадровых ресурсов, позволяющих максимизировать уровень промышленной безопасности региона, предприятия, объекта или сооружения.

Можно, конечно, равномерно «размазать» средства по всем опасным предприятиям и объектам. Ясно, однако, что при этом общий уровень безопасности не будет максимальным. Необходимо «кумулятивно» расходовать средства в самых опасных местах, тогда эффект будет наибольшим.

При самом крупном делении оптимизируются средства, выделяемые на экспертизу, с одной стороны, и на повышение безопасности – с другой. Эти два аспекта противоречивы: уменьшая степень осведомленности о потенциальных опасностях (затраты на экспертизу), увеличиваем расходы на повышение уровня безопасности, но рискуем допустить большие потери от необнаруженной неглубокой экспертизой опасности и наоборот. Следовательно, необходимо оптимизировать суммарные затраты:

$$\sum_{i=1}^N [Z_i + \Pi(Z_i)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где N – последовательно, в зависимости от уровня, на котором решается задача оптимизации – количество опасных предприятий в регионе, опасных объектов на предприятии, опасных мест в конкретном опасном объекте, Z_i – текущие затраты на экспертизу. Если известна зависимость потерь от глубины экспертизы (осуществляемых на нее затрат), а также ограничения, налагаемые природой опасного объекта

$$Z_i \in Z_i,$$

и коэффициенты ранжирования опасностей, то минимизацией данного критерия можно

оптимально перераспределить выделяемые ресурсы.

Получив размер затрат, направляемых на осуществление экспертизы, можно вычитанием их из общей суммы, выделяемой на повышение уровня безопасности, получить размер средств, которые можно потратить на технологические приемы, снижающие риск аварий. Распределение этих средств по опасным объектам также может быть оптимизировано. Для этого необходимо минимизировать следующий критерий

$$\sum_{i=1}^N [T_i + П(T_i)] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где T_i – последовательно, в зависимости от уровня, затраты на повышение безопасности предприятия, объекта на предприятии, конкретной зоны объекта (опасного места), наконец на реализацию конкретной технологии повышения безопасности, вплоть до повышения квалификации персонала, $П(T_i)$ – потери от выбора не лучшей технологии (в силу недостатка средств)

либо от проведения ее не на лучших режимах. Опять-таки, если известна зависимость потерь от эффективности технологии (осуществляемых на нее затрат), а также ограничения, налагаемые природой опасного объекта

$$T_i \in \mathfrak{Z}_i,$$

и коэффициенты ранжирования опасностей, то минимизацией данного критерия можно оптимально перераспределить выделяемые на повышение безопасности ресурсы.

Наконец, последняя задача метасистемного подхода связана с синтезом метасистемы. Здесь необходимо определиться в первую очередь с критерием, по которому будут проранжированы все опасные объекты. Тогда включать в метасистему придется наиболее опасные до того момента, пока не кончатся выделенные для этого ресурсы.

Таким критерием может быть отношение возможных от промышленной аварии потерь, умноженных на риск аварии к затратам, которые необходимы, чтобы данных потерь избежать.

Список использованной литературы:

1. Паспорта научных специальностей. Специальность 05.26.03 Пожарная и промышленная безопасность. Бюллетень ВАК.
2. Швалев Л.Н., Зверев А.Г. Комплексная система управления охраной труда в строительстве. – М.: Стройиздат, 1990. – 240 с.
3. Пищухин А.М., Шалкин А.В. Матричные системы управления // Вестник ОГУ. №1, 2001. – С. 140-145.
4. Пищухин А.М., Коршунова Т.И. Особенности метасистемного подхода в теории управления. // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике. Материалы региональной научно-практической конференции. – Оренбург, 2002 г. – С. 160-162.
5. Пищухин А.М. Оптимальные методы построения и управления мультиструктурными системами автоматизации технологических процессов и производств на основе вероятностных критериев качества / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Оренбург, 2001. – 338 с.
6. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов I-IV // Автоматика и телемеханика. 1960. №4, с. 436-441; №5, с. 561-568; №6, с. 661-665; 1961, №4 с. 425-435.
7. Ванько В.И. и др. Вариационное исчисление и оптимальное управление. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 488 с.