

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова,
Южный филиал АО Национальный научно-технический центр
промышленной безопасности, г. Шымкент)

МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА И ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аннотация

Предложены математические модели для описания скоростных характеристик развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера (ЧСТХ) различных классов, разработанные с применением методологии системного анализа. Модели ориентированы на использование в профильных информационных системах МЧС для целей автоматизированного мониторинга и прогнозирования ЧСТХ. Разработаны рекомендации по применению моделей в задачах прогнозирования возникновения и развития ЧСТХ. Сформулирован формализованный подход к автоматизированному решению задач принятия оптимальных управляющих решений по предотвращению ЧСТХ, их ликвидации и минимизации возможных последствий на основе предложенных математических моделей. Проведен анализ свойств и характеристик содержательной и формализованной постановок задач принятия управляющих решений на стадии, предшествующей ЧСТХ, и стадии состоявшейся и развивающейся ЧСТХ. Рассмотрены различные подходы к постановке и решению возникающих задач.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, математическое моделирование, автоматизированный мониторинг, управляющее решение.

Кілт сөздер: төтенше жағдайлар, математикалық үлгілеу, автоматтандырылған мониторинг, басқарушы шешім.

Keywords: emergency situations, the mathematical modeling, the automated monitoring, the operating decision.

Чрезвычайные ситуации техногенного характера (ЧСТХ) могут быть систематизированы и классифицированы [1,2] в зависимости от типа и видов иницирующих событий, масштабов распространения и объемов причиненного ущерба, скорости распространения и других факторов. Это позволит разрабатывать превентивные меры реагирования в виде управляющих решений, ориентированных на определенные классы ЧСТХ и их сочетания.

С позиций системного анализа ЧСТХ можно рассматривать как систему параметров S , определяющих текущую обстановку на контролируемом объекте

$$S = (t, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5), \quad (1)$$

где: t – текущее физическое время; x_1 – угроза человеческой жизни; x_2 – угроза здоровью людей; x_3 – нарушение жизнедеятельности людей; x_4 – значительные материальные потери; x_5 – ущерб окружающей природной среде.

Переменные (факторы) x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 и S имеют логическую природу, т.е. принимают значение логической нуль (*false*) и логическая единица (*true*). Если, хотя бы один из

факторов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 получает значение *true*, показатель S также приобретает значение *true*, что свидетельствует о возникновении ЧС ТХ.

Каждая из переменных x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 в общем случае является функцией от векторного аргумента различной размерности, т.е

$$x_i = f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i}), i = 1, 2, \dots, 5 \quad (2)$$

Аргументы указанных функций включают факторы опасности по каждому виду угроз, изменяющие свои значения от нуля до критической величины, т.е.

$$x_{ij} \in [0, x_{ij}^{kp}], i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, \eta_i \quad (3)$$

В случае достижения критического значения x_{ij}^{kp} хотя бы одним из учитываемых факторов x_{ij} , показатель соответствующей угрозы x_i приобретает значение *true*, т.е имеет место

$$\exists x_{ij} = x_{ij}^{kp}, x_i = true; \forall i, j. \quad (4)$$

Сопоставление текущих значений факторов опасности позволяет ранжировать их и на этой основе определять тенденции и возможные направления развития событий в сторону ЧСТХ того или иного класса.

Одной из наиболее важных характеристик ЧСТХ является скорость изменения факторов опасности, определяющих темпы развития и распространения ЧСТХ. С этих позиций различают следующие классы ЧСТХ:

- внезапные (взрывы, транспортные и промышленные аварии и т.д.);
- стремительные (пожары, выброс газообразных сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) и др.);
- умеренные (выброс радиоактивных веществ, аварии на коммунальных системах и пр.);
- плавные (аварии на очистных сооружениях, экологические отклонения, обусловленные техногенными причинами и т.п.).

Оперативная автоматизированная идентификация ЧСТХ по скорости развития и возможность их прогнозирования обеспечивают временной ресурс для подготовки превентивных мер и выработки управляющих решений по предупреждению, либо минимизации последствий. Для этих целей могут быть использованы следующие математические модели, которые применимы как в задачах автоматизированного мониторинга, так и задачах идентификации и прогнозирования ЧСТХ.

Категории внезапных ЧСТХ соответствует импульсный вид изменения факторов опасности типа δ – функции

$$x_{ij}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \neq t_{kp} \\ \infty, & \text{при } t = t_{kp} \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, \eta_i \quad (5)$$

где $t_{кр}$ – критический момент возникновения события.

Отличительная особенность ЧСТХ данного класса заключается в том, что для них возможна лишь фиксация момента возникновения, при этом фактически отсутствует собственно процесс развития вследствие его исключительно высокой скоротечности. По этой причине отсутствует возможность вмешательства в процесс с целью управления ходом развития ЧСТХ. Остается лишь устранение их последствий.

ЧСТХ класса стремительных соответствует неограниченный и быстро нарастающий в принятом масштабе времени характер изменения учитываемых факторов опасности. С учетом данного обстоятельства в основу математической модели процесса возникновения и развития ЧСТХ может быть положена экспоненциальная зависимость вида:

$$x_{ij}(t) = ke^{k_1 t}, \quad i = 1, 2, \dots, 5; \quad j = 1, 2, \dots, \eta_i \quad (6)$$

где k, k_1 – масштабные коэффициенты, определяющие интенсивность и скорость процессов развития событий.

В данном случае ресурс времени для принятия и реализации управляющих решений на стадии оперативного вмешательства будет составлять период $[t_0, t_{кр}]$, где t_0 – момент времени возникновения учитываемого события, $t_{кр}$ – момент достижения учитываемым фактором критического значения $x_{ij}^{кр}$. При наличии одновременно нескольких учитываемых факторов опасности в расчет принимается $t_{кр}$ для наиболее быстро изменяющегося фактора x_{ij} . Указанный временной ресурс подлежит учету в задаче выработки управляющих решений в качестве ключевого ограничения.

Умеренные ЧСТХ характеризуются относительно медленным развитием событий, что позволяет с достаточной полнотой и точностью отслеживать их в режиме реального времени. При этом существует возможность прогнозирования контролируемых процессов и выработки упреждающих управляющих решений, направленных на предотвращение ЧСТХ, минимизацию возможных последствий, либо их полную ликвидацию.

В математической модели возникновения и развития ЧСТХ данного класса могут быть использованы линейные либо близкие к ним зависимости изменения факторов опасности во времени. В общем случае они могут иметь вид:

$$x_{ij}(t) = at + b, \quad i = 1, 2, \dots, 5; \quad j = 1, 2, \dots, \eta_i \quad (7)$$

где a и b – параметры интенсивности развития событий.

Временной ресурс для выработки управляющих решений $[t_0, t_{кр}]$ в данном случае практически всегда является достаточным и потому может не учитываться в задачах принятия управляющих решений.

Плавные ЧСТХ характеризует малая скорость изменения факторов опасности, при которой возможно заблаговременное прогнозирование развития контролируемых процессов, проработка многовариантных сценариев развития событий и выработка эффективных управляющих решений для всех учитываемых сценариев.

В основу моделей плавных ЧСТХ могут быть положены зависимости, описывающие развитие событий с линейно растущей скоростью, вида:

$$\frac{dx_{ij}}{dt} = ct + d \quad i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, \eta_i \quad (8)$$

либо с постоянной скоростью, вида:

$$\frac{dx_{ij}}{dt} = c \quad i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, \eta_i \quad (9)$$

где c и d – параметры масштабирования скорости развития событий.

Мониторинг и контроль процессов плавных ЧСТХ не предъявляет особых требований в части оперативности и точности измерений, так как они всегда могут быть проверены и уточнены. Время на выработку и принятие управляющих решений здесь может не рассматриваться в качестве лимитирующего фактора, так как период $[t_0, t_{кр}]$ многократно превышает необходимый временной ресурс.

В этих условиях на передний план выходят задачи управления, направленные на предотвращение нежелательного хода развития событий и процессов, тогда как задачи управления, направленные на ликвидацию возможных последствий становятся менее актуальными.

На основе использования предложенных математических моделей и данных мониторинга контролируемых процессов может быть организована идентификация и прогнозирование ЧСТХ рассматриваемых классов, за исключением ЧСТХ класса внезапных. Такие ЧСТХ могут только регистрироваться и идентифицироваться, вследствие чрезвычайно высокой скоротечности и отсутствия возможности контроля детерминированных данных, свидетельствующих о нарастании угрозы возникновения ЧСТХ. В данном случае существует возможность лишь вероятностного прогноза на основе экспертных оценок, либо в среде автоматизированной экспертной системы.

Для остальных классов ЧСТХ возможность идентификации и прогноза в среде автоматизированной информационной системы существует. При этом для различных классов ЧСТХ эти возможности различны. Чем ниже темп развития процессов ЧСТХ, тем больше возможностей для их эффективной идентификации и прогнозирования.

При наступлении события ЧСТХ, либо прогнозе его возникновения, становится актуальной задача выработки управляющего решения, направленного на предотвращение ЧСТХ, либо его полную ликвидацию или минимизацию возможных последствий. Подобные задачи могут быть поставлены и формализованы в классе линейных, либо нелинейных оптимизационных задач.

В общем виде такая задача может быть сформулирована следующим образом:

$$F(x, u, y, t) \rightarrow \min_{u(t) \in U} \quad (10)$$

$$U = \{u : g(x, u, y, t) = 0; h(x, u, y, t) \geq 0\},$$

где t – физическое время; $x(t)$ – вектор входных параметров учитываемых угроз и их составляющих, $y(t)$ – вектор выходных параметров, отображающих возможные последствия ЧСТХ; $u(t)$ – вектор применяемых управляющих воздействий; $F(x, u, y, t)$ – целевая функция, характеризующая эффективность принимаемых управляющих решений; $g(x, u, y, t)$ и $h(x, u, y, t)$ – векторно-значные функции в ограничениях на принимаемые решения в виде равенств и неравенств соответственно; U – множество допустимых управлений в виде временных функций (траекторий) $u(t)$.

Множество U допустимых управляющих воздействий $u(t)$ определяют условия, имеющие смысл математических моделей рассматриваемых процессов, функциональных и прямых ограничений на переменные задачи. В общем случае они имеют вид зависимостей:

$$\begin{aligned} g(x, u, y, t) &= 0; \\ h(x, u, y, t) &\geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

где $g(x, u, y, t)$ и $h(x, u, y, t)$ – заданные векторно-значные функции.

В реальных условиях мониторинг значений факторов опасности $x_{ij}(t)$ чаще всего осуществляется посредством их замеров через определенный период времени T , в течение которого раннее зафиксированное значение считается постоянным. Исходя из этого, представляется возможным считать, что $x_{ij}(t)$ имеют характер кусочно-постоянной функции, сохраняющей постоянное значение $x_{ij}(t) = \text{const}$ в течение заданного периода T . С учетом данного обстоятельства, динамическую задачу (11), которая обычно является чрезвычайно сложной и трудоемкой для разрешения, становится возможным свести к более простой статической задаче, решаемой последовательно с периодичностью T .

Указанную модифицированную задачу можно представить в виде:

$$F(x, u, y) \rightarrow \min_{u \in U} x \quad (12)$$

$$U = \{u : g(x, u, y) = 0, h(x, u, y) \geq 0\},$$

где F – заданная скалярная функция, отождествляемая с критерием оптимальности принимаемых решений; x, u, y – векторы соответствующих переменных, значения которых учитываются на момент принятия решения; U – множество допустимых управляющих решений; g и h – заданные векторно-значные алгебраические функции.

В приведенной задаче векторное уравнение

$$g(x, u, y) = 0 \quad (13)$$

отождествляется с математической моделью ЧС ТХ в момент принятия решения.

Соответственно, неравенство

$$h(x, u, y) \geq 0 \quad (14)$$

отождествляется с функциональными и прямыми ограничениями на принимаемые значения управляющих параметров. Прямыми ограничениями считаются такие, которые накладываются непосредственно на значения переменных. В векторной форме они имеют вид:

$$D \geq u \geq d, \quad (15)$$

где D – вектор верхних границ значений переменных управления; d – вектор нижних границ значений переменных управления.

Под функциональными ограничениями понимаются ограничения, накладываемые на значения переменных, связанных функциональными зависимостями.

В качестве критерия оптимальности $F(x,u,y)$ в задаче принятия решений может использоваться учитываемый определенный i -й вид угрозы

$$x_i = f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im_i}) \quad (16)$$

В этом случае задача будет трактоваться, как задача предотвращения ЧС ТХ по i -му виду угрозы путем минимизации данной угрозы.

В наиболее простом случае функции (16) и функциональные ограничения будут линейными. Соответственно, возникающая задача окажется линейной. Тогда для ее решения может быть использован эффективный аппарат линейного программирования [4].

Однако чаще всего подобные задачи будут нелинейными. Если при этом учитываемые функциональные зависимости имеют характер заданных неявно, таблично, либо алгоритмически, они будут относиться к классу задач нелинейного программирования [5], для решения которых также существуют эффективные численные методы, реализуемые посредством ЭВМ.

При комплексном подходе к выработке управляющих решений потребуются учет одновременно несколько критериев. Возникающие при этом задачи принятия решений будут иметь характер многокритериальных оптимизационных задач [6]. В таких случаях могут использоваться специальные методы векторной оптимизации, направленные на отыскание Парето-оптимальных решений [7].

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Леонтьева И.Н., Гетия А.Л.* Безопасность жизнедеятельности. – М.: 1998.
- 2 Постановление Правительства РК от 13 декабря 2004 года № 1310.
- 3 *Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Кольцова Э.М.* Системный анализ процессов химической технологии. М.: Наука, 1988. Т.7. 366 с.
- 4 *Данциг Дж.* Линейное программирование: его применение и обобщения. М.: Пргресс, 1966. 600 с.
- 5 *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975. 534 с.
- 6 *Карлин С.* Математические методы в теории игр, программировании и экономике. Пер. с англ. М.: Мир, 1964. 562 с.
- 7 *Подиновский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных

задач. М.: Наука, 1982. 256 с.

REFERENCES

- 1 Leont'eva I.N., Getija A.L. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. - М.: 1998.
- 2 Postanovlenie Pravitel'stva RK ot **13 dekabrja 2004 goda № 1310**.
- 3 Kafarov V.V., Dorohov I.N., Kol'cova Je.M. *Sistemnyj analiz processov himicheskoj tehnologii*. – М.: Nauka, 1988. - Т.7. – 366 s.
- 4 Dancig Dzh. *Linejnoe programmirovanie: ego primenenie i obobshhenija*. -М.: Prgress, 1966. -600 с.
- 5 Himmel'blau D. *Prikladnoe nelinejnoe programmirovanie*. -М.: Mir, 1975. – 534 с.
- 6 Karlin S. *Matematicheskie metody v teorii igr, programmirovanii i jekonomike*. Per. s angl. -М.: Mir, 1964. –562 с.
- 7 Podinovskij V.V., Nogin V.D. *Pareto-optimal'nye reshenija mnogokriterial'nyh zadach*. –М.: Nauka, 1982. – 256 s.

Резюме

О.С. Балабеков, Ху вен-Цен, Б.Р. Исмаилов, А.Ш. Шарафиев

(М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.,
Өнеркәсіптік қауіпсіздік орталығының ұлттық ғылыми-техникалық орталығы АҚ
Оңтүстік филиалы, Шымкент қ.)

ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙДАҒЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН МОНИТОРИНГ ЖӘНЕ БАСҚАРУШЫ ШЕШІМДІ ҚОЛДАНУ ҮЛГІСІ

Жүйелік талдау әдісімен әр түрлі класстағы төтенше жағдайдағы техногенді сапатты (ТЖТС) сипаттау үшін математикалық үлгісі ұсынылған. Үлгілер ТЖТС мониторингтау мен болжауды автоматтандырады. ТЖТС дамуы мен туындауын болжау мақсатында үлгілерді қолдану ұсыныстары жасалған. ТЖТС оңтайлы басқару шешімдерін қабылдауын және математикалық үлгі арқылы шыққан салдарын минимизациялауын көрсетеді. ТЖТС кезең алдында оңтайлы шешім қабылдау есептері талданған. Туындаған мәселелерді шешіп орындау үшін әртүрлі тәсілдер қарастырылған.

Кілт сөздер: төтенше жағдайлар, математикалық үлгілеу, автоматтандырылған мониторинг, басқарушы шешім.

Summary

O. S. Balabekov, Hou ven-Tsen, B. R. Ismailov, A.Sh.Sharafiyev

(The southern Kazakhstan state university of M. Aueyov;
Southern branch JSC Natsionalny Nauchno-tekhnichesky center of industrial safety, Shymkent)

MODELS OF THE AUTOMATED MONITORING AND ADOPTION OF OPERATING DECISIONS IN THE CONDITIONS OF EMERGENCY SITUATIONS

Mathematical models for describing speed characteristics of development of man-caused emergencies (MCE) of various classes, worked out by using the methodology of system analysis have been suggested. The models are oriented to be used in profile information systems of Ministry of emergency (ME) for the purpose of automatized monitoring and forecasting MCE. The recommendations on using models in forecasting problems of occurrence and development of MCE have been worked out. The formalized approach to automatized solution of problem of making optimum controlling decisions on MCE prevention, their elimination and minimization of probable consequences on the basis of suggested mathematical models has been formulated. The analysis of properties and characteristics of intensive and formalized statement of the problem of making controlling decisions on the stages, preceding MCE, and stages of accomplished and developing MCE has been carried out. The various approaches to statement and solution of arising problems have been considered.

Keywords: emergency situations, the mathematical modeling, the automated monitoring, the operating decision.

Поступила 24.05.2013 г.