

И.Н. КЛИМОВ

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ ЦЕНТРОВ МОНИТОРИНГА

Анализируется специфика чрезвычайных ситуаций природного происхождения. На основании проведенного анализа выдвигаются требования к системе мониторинга чрезвычайной ситуации. Вводится понятие распределенной системы центров мониторинга, предлагается метод оптимизации рисков в подобной сети

Введение

Масштабность распространения и многофакторность воздействия выбросов на биосферу, ноосферу и климат Земли определяют необходимость системного исследования многих глобальных процессов. Среди них особое место занимают процессы возникновения чрезвычайных ситуаций, как вносящие существенные риски в основы жизни и деятельности населения планеты. Системные исследования по управлению рисками и снижению воздействий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения на качество окружающей среды и экологическую обстановку выполняются во многих странах, как в масштабе отдельной страны, так и в мировом масштабе в соответствии с решениями ООН, Европейской комиссии, Международного энергетического агентства.

Мониторинг рисков чрезвычайных ситуаций – сложная наукоемкая задача, жизненно важная для обеспечения экологической безопасности окружающей среды, снижения материальных затрат и потерь человеческих ресурсов при возникновении обстоятельств непреодолимой силы (наводнения, лавины, цунами)

Взрывообразный рост населения приводит к заселению потенциально опасных районов планеты. Также необходимо отметить, что ряд промышленности (горнодобывающая, атомная энергетика, химическая) неизбежно связаны с рисками как природного, так и техногенного происхождения

Задача оптимизации рисков чрезвычайных ситуаций заключается в раннем обнаружении потенциальных чрезвычайных ситуаций (и в этом контексте она тесно связана с задачами мониторинга окружающей среды), в обеспечении оперативной реакции соответствующих организаций при возникновении чрезвычайных ситуаций в целях минимизации их последствий и ликвидации потенциальных будущих угроз.

Используемые на практике методы позволяют осуществлять прогнозирование развития чрезвычайных ситуаций в конкретной точке пространства, основываясь на статистических данных и данных мониторинга. К сожалению, при возникновении динамически развивающихся чрезвычайных ситуаций (выброс отравляющих веществ в окружающую среду, паводок и т.д.) мощности одного центра оказывается недостаточно для эффективного обсчета потенциальных вариантов развития ситуации, что приводит к неполноте информации, предоставляемой лицу, принимающему решения (ЛПР), и, как следствие, к ошибочным действиям для разрешения чрезвычайной ситуации. Значимость человеческого фактора при подобной системе принятия решений вырастает многократно, поскольку эксперт вынужден работать в условиях неполноты информации и опираться на слабо формализуемые критерии, что многократно увеличивает риск человеческой ошибки.

Цель исследования: разработать метод оптимизации рисков чрезвычайных ситуаций, позволяющий эффективно использовать распределенную систему центров мониторинга и прогнозирования, направленный на улучшение точности прогнозирования в рамках установленных временных ограничений на время вычисления предполагаемого решения.

Задачи исследования: определить способы обмена информацией и повторного использования накопленных знаний в распределенной сети центров чрезвычайных ситуаций.

1. Анализ динамики развития чрезвычайных ситуаций природного происхождения

Чрезвычайные ситуации природного происхождения – результат непредсказуемого развития экологически опасных процессов, повлекший за собой существенные материальные либо человеческие потери. С точки зрения системного анализа экологически опасные процессы есть подмножество сложных физических систем, со всеми их свойствами – открытостью, динамичностью, уникальностью, слабой формализуемостью, многокритериальностью в смысле выбора решений, неопределенностью, вызванной: неполнотой или отсутствием знаний о природе данного процесса, ограниченной возможностью математического описания и вычислительной реализации, сложностью в применении технических средств измерения или управления, наличием стохастического или субъективного (волюнтаристского) факторов. К ним необходимо применение системного анализа, как наиболее универсального и адекватного современным требованиям средства исследования. Этот вид анализа, в свою очередь, заключается в применении методологических, математических и организационных средств, предназначенных для выявления внутренних и внешних взаимосвязей и взаимодействий между процессами-объектами – как элементами системы одно- или разнотипных и природных по происхождению, протеканию и средствам описания, оцениванию параметров, моделированию и, как следствие, – прогнозированию или научному предвидению. Что, в свою очередь, дает возможность лицу, принимающему решение, получить максимально полную, достоверную и главное, своевременную информацию о возможных или неизбежных негативных воздействиях опасных процессов на экосреду.

Системный характер исследований обусловлен самой природой подобных процессов, как это можно увидеть (рис. 1) на примере развития каскадного взаимодействия стихийных явлений. Все элементы взаимосвязаны, и возникновение одного из бедствий ведет к вероятностной экологически разрушимой цепной реакции. Существующие направления в исследовании, вплоть до сегодняшнего дня, разделялись по типам объектов и по предметной области, что в свою очередь затрудняло понимание существа влияния и взаимовлияния процесса на процесс и порождающих последствий.

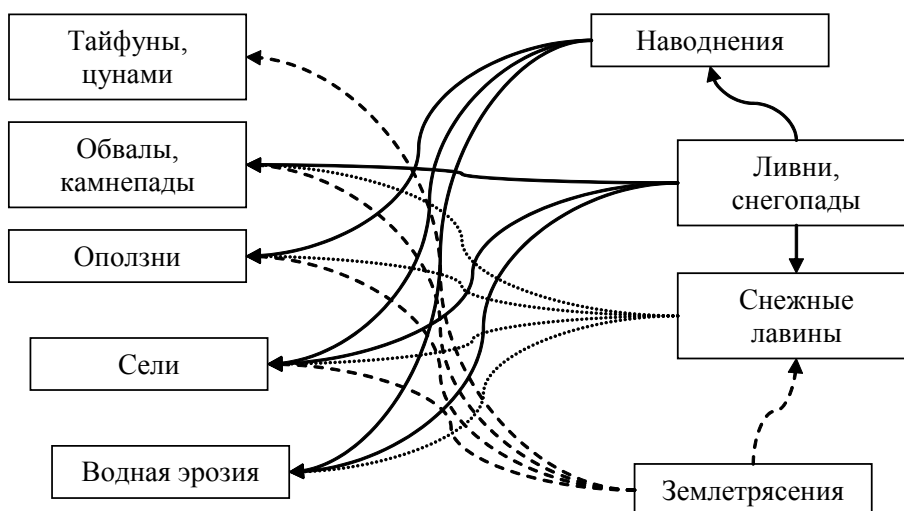


Рис. 1. Схема развития каскадного взаимодействия стихийных явлений

2. Требования к системам мониторинга рисков чрезвычайных ситуаций

Проведенный выше анализ свойств и особенностей экологически опасных процессов определяет необходимость нового подхода к информационному обеспечению процессов контроля, оценивания и прогнозирования состояния, динамики и последствий экологически опасных процессов, который должен базироваться на системной методологии исследования разнородных факторов риска и оценивания возможностей своевременного противодействия стихии и учитывать пространственный разнос и распределенность в пространстве

как условий возникновения данного вида процессов, так и результатов их воздействия на экосреду.

Необходимость учитывать данные факторы вынуждает предъявить специфические требования к структуре и свойствам информационной системы мониторинга, системного анализа и прогнозирования динамики экологически опасных процессов. Это требование практически очевидно - для исследования свойств, специфики и динамики процессов, пространственно распределенных на больших площадях. Требуется пространственно распределенная система сбора и обработки первичной информации о разнотипных факторах риска и свойствах процессов в различных масштабах исследуемого пространства. Вместе с тем, подобные системы имеют определенные особенности в процессах функционирования и управления. Представляется целесообразным при разработке структуры и моделей информационной системы мониторинга, системного анализа экологически опасных процессов принять, что:

- общая стратегия принятия решений в сложной иерархической системе соответствует принципам централизованного управления в динамике ЧЭС;
- централизованное управление является наиболее эффективным видом управления в динамике ЧЭС, что подтверждает практика многих стран;
- система централизованного контроля экологической обстановки и управления в динамике ЧЭС принята в Украине.

Основная идея предлагаемого подхода – на основе параллельного анализа разнородных факторов риска обеспечить системно согласованную взаимосвязь различных информационных процессов формирования, обоснования и реализации решений по своевременному противодействию негативному влиянию. Цель подхода – повысить обоснованность и достоверность принимаемых решений в условиях неопределенности, неполноты, неточности и противоречивости исходной информации о факторах риска. Стратегия подхода – обеспечить рациональное использование априорной и текущей информации о факторах риска как при оценивании и прогнозировании экологически опасных процессов, так и при разработке решений и мероприятий по предотвращению и (или) минимизации их нежелательных последствий .

3. Структура информационной системы мониторинга и оптимизации рисков чрезвычайных ситуаций

На основе предлагаемого подхода разработана иерархическая структура информационной системы мониторинга и оптимизации рисков чрезвычайных ситуаций (рис. 2).

Состав и последовательность функциональных элементов иерархической структуры информационной системы определяется последовательностью информационных процессов формирования и обоснования решений при оценивании и прогнозировании динамики экологически опасных процессов. Первоочередной задачей в этой последовательности является сбор и формирование исходной информации об окружающей среде и экологической обстановке с требуемыми уровнями полноты, достоверности и своевременности. Это достигается на основе непрерывного контроля, системного анализа и прогнозирования разнотипных и разноприродных факторов риска, действие которых является основными причинами и источниками экологически опасных процессов. Процедуры решения рассматриваемой задачи реализуются на иерархическом уровне 1 «Система анализа состояния и динамики факторов риска». В любом регионе обязательно выполняется анализ природных и техногенных процессов и факторов риска. В зависимости от специфики природных, производственных и других процессов в конкретном регионе дополнительно может выполняться анализ и других факторов риска, например, анализ и мониторинг динамики уровня воды в реках, анализ и мониторинг динамики загрязнения воздуха, грунтовых вод, водоемов специфическими веществами и т.п. Целью такого анализа и мониторинга является своевременное предупреждение потенциальных объектов и субъектов о степени и уровне риска нештатных и критических ситуаций. Результаты решения данной задачи служат основой для анализа и прогнозирования состояния и динамики развития экологически опасных процессов, что составляет содержание второй задачи.

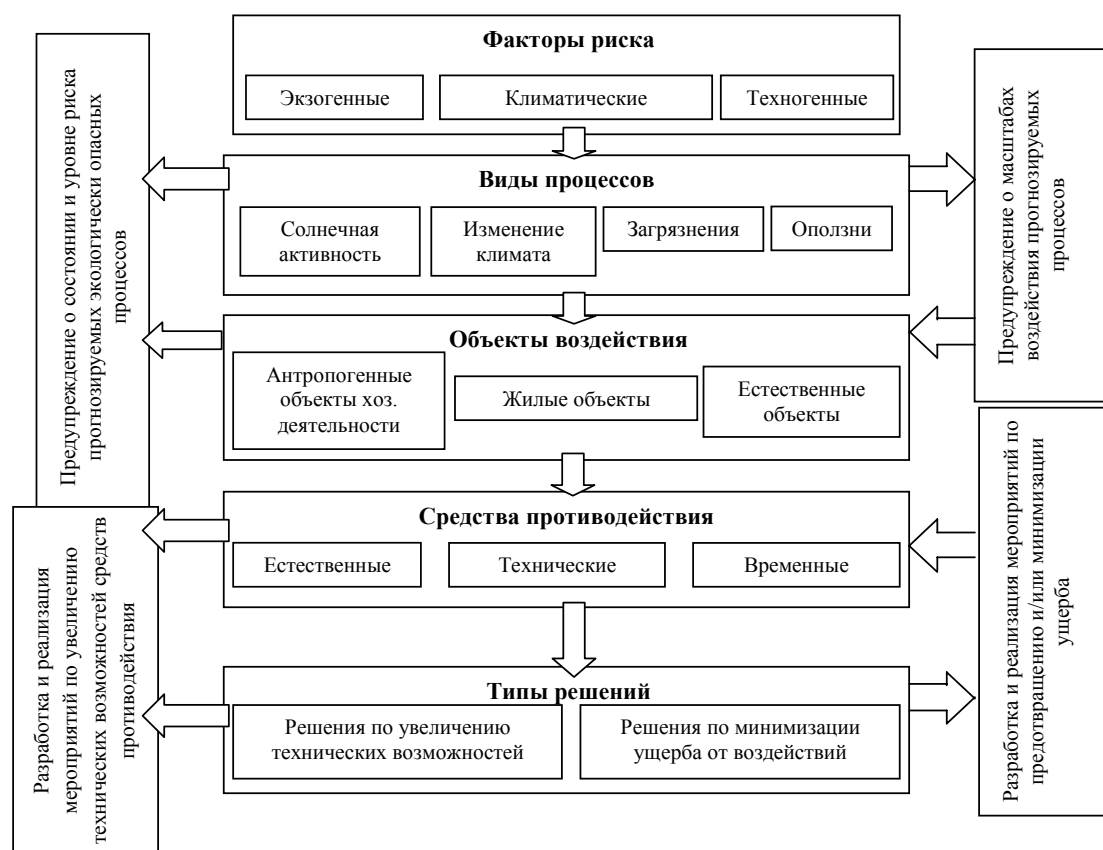


Рис 2. Иерархическая структура информационной системы мониторинга и оптимизации рисков

Ее суть - анализ и прогнозирование состояния и динамики данных процессов. Процедуры решения данной задачи реализуются на иерархическом уровне 2 «Система анализа состояния и динамики экологически опасных процессов». Результатом ее решения является оперативная информация о состоянии и динамике развития разного рода экологически опасных процессов. Полученная на этапе 2 оперативная информация о состоянии и динамике процессов используется в рассматриваемой последовательности информационных процессов формирования и обоснования решений, как исходная информация для следующих задач: оценивание возможных результатов воздействия прогнозируемых экологически опасных процессов; оценивание возможности различных средств противодействия прогнозируемым процессам. Процедуры решения этих задач реализуются в соответствующих системах на иерархических уровнях 3 и 4 «Система анализа и прогнозирования рисков воздействия процессов», «Система анализа и прогнозирования возможностей средств противодействия». Решения данных задач должны быть взаимно согласованы по целям, срокам, ресурсам и ожидаемым результатам, так как только при таком подходе к их решению возможно обеспечить рациональное использование ограниченных ресурсов в условиях неустраняемого временного ограничения на цикл формирования и реализацию решений в динамике ЧЭС. Отсюда следует, что данные задачи должны решаться параллельно в целях с одной стороны, оценивания и прогнозирования риска и возможных последствий воздействия экологически опасных процессов на объекты хозяйственной деятельности, жилые, культурные и другие объекты, а с другой стороны – оценивания и прогнозирования возможностей средств защиты по противодействию разрушительным воздействиям экологически опасных процессов. Результаты решения этих задач являются исходной информацией для уровня 5 «Система формирования решений». Данный уровень информационной системы параллельно формирует и обосновывает:

- решения и мероприятия по предотвращению и (или) минимизации ущерба от негативных воздействий;

– решения и мероприятия по увеличению, в случае необходимости, технических возможностей средств противодействия.

Указанные решения и мероприятия разрабатываются при двух существенно различающихся условиях: в динамике повседневного мониторинга и контроля экологической обстановки и в динамике конкретной ЧЭС

4. Математическая модель мониторинга и оптимизации рисков чрезвычайных ситуаций

Центральным элементом модели является понятие ситуации. В рамках исследования понятие ситуации формулируется следующим образом:

$$\text{Sit} = \{s_1 \dots s_n, \text{Sit}'\}, 0 \leq s_i \leq 1, i = 1 \dots n, s_i \in S, \quad (1)$$

где $s_1 \dots s_n$ – нормализованное множество значений сенсоров, установленных на объекте мониторинга (под сенсорами здесь и далее будем понимать не только аналоговые и цифровые приборы, но и точки зрения экспертов, нормализованные на единичной шкале); Sit' – данные про ситуацию, полученные от других систем мониторинга, а S – множество существующих типов датчиков, описанных в базе знаний. Примером информации, полученной от других систем мониторинга, может быть, к примеру, описание погодных условий от ближайшей метеостанции. Для определения чрезвычайной ситуации введем функцию E , выходным значением которой является численная оценка текущего состояния окружающей среды:

$$E(\text{Sit}) = \max e_i(\text{Sit}_i), i = 1 \dots n, \quad (2)$$

где e_i – функция оценки уровня риска группы показаний датчиков Sit_i , причем $\text{Sit}_i \subseteq \text{Sit}$. Вид функции e_i зависит от специфики исследуемой системы, но все функции семейства e обладают следующими свойствами:

- результатом функции является числовое значение в диапазоне $0 \dots 1$, описывающее меру близости к чрезвычайной ситуации в пространстве возможных значений функции e_i ;
- для компоненты ситуации Sit_i существует ровно одна функция e_i , имеющая зависимость от Sit_i

Процесс оценки рисков состоит из серии последовательных измерений $t_1, t_2 \dots t_n$, причем интервал между измерениями t_k и t_{k+1} определяется по формуле:

$$\Delta t_{k+1} = \min(\Delta t_{\max}, \Delta t_k - k \times (E(\text{Sit}_{k+1}) - E(\text{Sit}_k))), \quad (3)$$

где Δt_{\max} – верхняя граница допустимого периода измерения; Δt_k – интервал между предыдущими измерениями; k – фиксированный коэффициент влияния риска. Благодаря формуле (3) обеспечивается процесс адаптации системы к динамике изменения риска окружающей среды – с ростом риска интенсивность измерений растет, а также обеспечивается интерактивная работа системы. Однако необходимо заметить, что при высоких значениях интегрального риска вычисление функции e_i , используемой в (2), может занимать время, сравнимое с Δt_k , что приводит к ограничению на время отклика системы ΔK

в пределах $\sum_{i=1}^n (t(e_i(\text{Sit}_i))) \Delta t_{\max}$, где $t(a)$ – функция, описывающая величину процессорного времени, необходимую для вычисления функции a .

В общем виде принцип работы системы мониторинга и оптимизации рисков можно описать следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sit}' \\ s_1 \dots s_n \end{array} \right\} \xrightarrow{\Delta S} \text{Sit} \xrightarrow{\Delta K} E(\text{Sit}) \xrightarrow{\Delta U} M(\text{Sit}), \quad (4)$$

где ΔS – фактическая задержка получения показаний мониторинга, ΔK вычисляется с помощью (3), а ΔU – задержка, связанная с принятием решения по оптимизации рисков в условиях ситуации Sit . Существующие задержки в системе соотносятся следующим обра-

зом: $\Delta S \ll \Delta K \ll \Delta U$. Такое соотношение обусловлено экспоненциальным ростом информации для обработки, необходимой на каждом шаге принятия решений.

Уменьшение ΔK в (4) позволяет улучшить контроль за развитием чрезвычайной ситуации и является очень важным в процессе оптимизации рисков. Классический подход к решению этой проблемы включает увеличение вычислительных мощностей системы мониторинга, что приводит к следующим негативным последствиям:

- увеличение рисков отказов из-за усложнения системы мониторинга;
- рост экономических затрат как для создания, так и для поддержки существующих систем;
- рост объемов обрабатываемых данных.

Альтернативным решением этой проблемы является постройка сети ситуационных центров, которая позволяет проводить вычисления функции e_i параллельно. Однако вид функций e_i для разных центров мониторинга существенно отличается из-за специфики расположения компонентов мониторинга (например угла наклона для мониторинга лавин, глубина измерения сейсмической активности для землетрясений и т.п.). Совокупность фиксированных факторов, описывающих специфику конкретного центра мониторинга, будем называть геоинформационным контекстом и обозначать буквой G . При условии использования контекста формула (4) приобретает вид:

$$\max_{i=1..n} (t(e_i(\text{Sit}_i, G))) \leq \Delta K \leq \max_{i=1..n} (t(e_i(\text{Sit}_i, G))) + \Delta t_{\max}. \quad (5)$$

Необходимо учесть, что приведенная оценка времени решения задачи мониторинга является оптимистической и достигается только при наличии большого количества центров мониторинга. Однако построенная система имеет следующие преимущества:

- простота смены архитектуры системы, возможность ее расширения без изменения основополагающей концепции;
- робастность модели – отказ одного узла приводит к росту времени ΔK , а не к отказу всей системы;
- эффективное использование вычислительных ресурсов из-за равномерного распределения задач мониторинга среди узлов, которые в данный момент не нагружены.

Выводы

Предложенный метод позволяет эффективно решить задачу комплексного мониторинга рисков чрезвычайных ситуаций на большой площади.

Впервые предложен метод прогнозирования возникновения чрезвычайной ситуации на основе распределенной базы знаний и статистической оценки на основе наблюдений за определенным промежутком времени, что позволяет снизить время прогнозирования за счет использования распределенных вычислений и моделей, оптимизированных под распределенные вычисления. *Впервые* предложен метод оптимизации рисков чрезвычайной ситуации с использованием кластерной архитектуры с учетом геоинформационного контекста.

В дальнейших исследованиях необходимо провести детальную формализацию структуры предлагаемой сети в целях построения эффективного инструментария для проектирования и оценки необходимого количества узлов системы мониторинга.

Список литературы: 1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г.Белов, М.: Академия, 2003. 512 с. 2. Drenick K. A mathematical theory of organization. Acad. Press. 1986. 340 p. 3. Гражданкин А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов/А.И. Гражданкин, П.Г. Белов//Безопасность труда в промышленности. 2000. № 11. С.6-10.

Климов Илья Николаевич, аспирант кафедры информатики. Научные интересы: системы реального времени, мониторинг. Адрес: Украина, 61189, Харьков, ул. Мира 118, кв. 55, тел.: 8(0572)99-28-55, e-mail:illya.klymov@gmail.com.