

УДК 004.827:504.5

О.Н. Землянский

Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, Черкассы

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЙ

Рассмотрены особенности процессов принятия решений при определении масштабов и ликвидации последствий химических аварий. Определены задачи, которые необходимо решать в доаварийный и послеаварийный периоды. Классифицированы особенности построения моделей концентрации опасного химического вещества. Предложена структура и элементный базис соответствующей базы знаний.

Ключевые слова: химическая авария, концентрация, модель, метод, база знаний.

Введение

Постановка задачи. Особенностью современного социально-экономического развития Украины является преимущественное развитие энергетической, металлургической и химической отраслей. Производство в каждой из них сопряжено с опасностью техногенных аварий. Большое количество химических предприятий в стране представляют угрозу как непосредственно людям, так и среде их обитания. Связано это с высокой вероятностью химических аварий, скоростью их протекания, опасностью для персонала и населения окружающих городов, возможностью возникновения экологических проблем при неправильной ликвидации последствий, а также необходимостью принятия решений в условиях неопределенности.

Уменьшить масштабы негативных последствий химических аварий можно, оптимизировав процессы принятия решений как в доаварийный период, так и непосредственно после аварии. Поскольку химические аварии происходят в короткий промежуток времени и ОХВ распространяются достаточно быстро, то неправильные, неэффективные решения приводят к человеческим жертвам и экологическим катастрофам. Необходимым условием объективизации и своевременности проведения мероприятий по защите населения и окружающей среды является использование вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения. Однако, применения современных инструментальных средств оказывается недостаточно, поскольку каждая конкретная авария отличается непредсказуемостью возникновения, характером протекания и возможными последствиями. Достаточным условием для принятия качественных решений, на наш взгляд, может служить соответствующая методика, базирующаяся на структуризации задач, моделей и методов их решения при прогнозировании как аварий, так и их последствий, определении оптимального (квазиоптимального) распределения ресурсов и построении на их основе системы поддержки принятия решений (СППР).

Определение совокупности проблем, которые необходимо решать как в доаварийный, так и в послеаварийный период, их особенностей и структуризация, а

также определение элементного базиса и взаимодействия функциональных модулей СППР и является задачей, рассматриваемой далее.

Основной раздел

Анализ подходов к построению СППР при химических авариях

Проблемы построения эффективных СППР достаточно полно отражены в современной научной литературе. Множество подходов и предложений по конструктивной реализации таких систем приводит к закономерному вопросу об их систематизации и целесообразности использования в практике работы соответствующих предприятий и служб.

Одной из новых и перспективных идей при построении СППР при химических авариях является интеграция элементов экспертных систем и геоинформационных систем (ГИС). Автор [1] предлагает положить в основу такой интеграции продукционно-фреймворк модели знаний и использовать объектно-ориентированный подход. Но, как и в других работах, не отражено, каким образом будет осуществлено взаимодействие с компонентами ГИС и какая информация будет использоваться для поддержки принятия решений.

Новый подход к решению проблемы оценивания риска сложных чрезвычайных ситуаций (ЧС), базирующийся на динамических структурных моделях знаний с автоматическим построением возможных сценариев возникновения ЧС и расчетом масштабов последствий развития ЧС, предложен в [2]. Такой подход позволяет учитывать логическую взаимосвязь событий ЧС сложного характера, включающий в себя пожары, взрывы и утечку опасных веществ. Такая комплексность рассмотрения является преимуществом, но, исключительно при предварительном моделировании ЧС, ее результаты имеют низкую точность при определении конкретных параметров конкретной аварии.

Комплексность является ведущей идеей и работы [3], однако в ее основу положен принцип системности при проектировании СППР при ЧС. В частности, рассмотрены проблемы территориального размещения, формирования совокупности функциональных задач,

интеллектуализации процессов принятия решений с использованием автоматизированных систем, учет картографической и семантической информации. Безусловным ее преимуществом является предложение разработки и использования сценарного анализа.

Интеллектуализации процессов принятия решений при авариях на химических предприятиях посвящена работа [4]. Ее автор классифицировал СППР по типу использованного в них инструментария, базирующегося на элементах искусственного интеллекта, чем, на наш взгляд, сместил акценты из предметной области решаемой проблемы в область прикладных средств.

Интеллектуальная СППР, предложенная в [5], состоит из информационно-моделирующей подсистемы, включающей в себя ситуационно-советующий модуль на основе нечетких сетей Петри и алгоритмов нечетких логических рассуждений, а также управляющей подсистемы, функционирующей на основании использования производственных правил. Учитывая то, что СППР ориентирована на использование персоналом предприятия и базируется на экспертных заключениях, было бы рационально использовать ее основные элементы для прогнозирования последствий аварии.

В работе [6] приведена типовая структура комплекса информационного и программного обеспечения для анализа риска и последствий аварий на химически опасных объектах, включающая в себя информационную подсистему, подсистему для анализа производственной опасности, оценки риска и последствий аварий, а также подсистему для управления безопасностью. Комплексный характер разработки является ее несомненным преимуществом, но без возможности использования в режиме реального времени и учета особенностей аварии система утрачивает актуальность.

Другой подход предложен в работах Л.Ф. Ноженковой. Она предлагает сосредотачивать усилия на создании трех типов СППР: для стратегического прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) [7], оперативного прогнозирования возникновения и последствий ЧС [8], поддержки принятия оперативных решений по ликвидации очага и последствий ЧС [9]. Отметим, что такая классификация СППР является рациональной, применяемой и в других отраслях, но значительный научный интерес представляет конструктивное насыщение ее составляющих.

Таким образом, анализ принципов и конструктивных особенностей проектируемых СППР позволяет сделать вывод о разнообразии приемов и способов их создания. Присутствие элементов искусственного интеллекта позволяет осуществить объективизацию принимаемых решений, упростить их интерпретации интеллектуализировать процессы принятия решений. Вместе с тем, остаются проблемы интеграции современных вычислительных средств, программного обеспечения, интеллектуальных методов и существующих методик определения концентрации ОХВ в послеварийный период. Критичность условий, при которых принимаются решения, нечеткость при оценке ситуа-

ции, неполнота исходных данных требуют применения новых подходов как к моделированию аварий и их последствий, так и к информационно-аналитическому обеспечению процессов принятия решений.

Структуризация задач прогнозирования при химических авариях

Точность прогнозирования зависит от степени однородности рассматриваемых процессов. Поэтому, на первом этапе классифицируем релевантные задачи на такие, что решаются в доаварийный и послеварийный период. Поскольку при химических авариях выбросы ОХВ бывают залповые или продолженного действия, то соответствующие особенности также необходимо учитывать при решении послеварийных задач. И, наконец, получаемые в доаварийный период результаты нуждаются в корректировке с использованием данных измерений.

Рассмотрим указанные выше классификационные элементы детально. В доаварийный период необходимо разработать модели, которые позволяют определить временные и пространственные поля концентрации ОХВ при аварии в любой возможной точке производства, хранения или транспортировки. Такая задача является ресурсозатратной, однако имеющийся ресурс времени и вычислительные мощности позволяют ее решить. И такое решение сводится к структурной и параметрической идентификации зависимости

$$C(P) = H(X, T, R_0, W), \quad (1)$$

где C – концентрация ОХВ; P – параметры, указывающие на место измерения концентрации ОХВ или его время; X – координаты точки, в которой произошла авария; T – время возникновения аварии; R_0 – значения параметров аварии; W – значения погодных-климатических факторов.

Очевидно, что в этом случае данные предполагаются точно заданными. Однако, значения концентрации определяются, исходя из информации, имеющейся у эксперта, особенностей рельефа местности, ее застройки, а также расчетов, проведенных по различным методикам и с использованием специальных программных систем.

Таким образом, результирующая характеристика является нечеткой величиной и представляется как функция принадлежности.

Рационально осуществлять ее дефазификацию и далее использовать четкое значение выходной характеристики. Поскольку все данные в реальных условиях могут быть измерены или указаны экспертами, можно утверждать, что их необходимо считать нечеткими числами. Соответствующая база данных (рис. 1) кроме их значений должна содержать и данные об авариях с подобными ОХВ на однотипных предприятиях. Если предполагается, что авария может произойти во время транспортировки или хранения, то необходимо иметь информацию об их условиях.

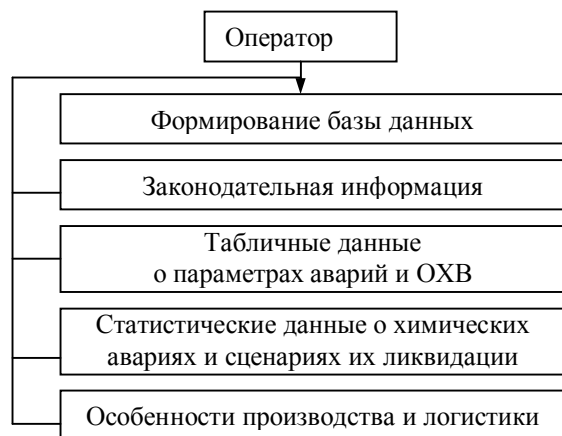


Рис. 1. Структура данных

Характер исходных данных и системная неопределенность [10], сопровождающие химические аварии, предъявляет особые требования к выбору модели концентрации ОХВ, применимой для стратегического прогнозирования. Известные модели и методы их параметрической идентификации оказываются мало пригодными в силу многих причин. В частности, невозможно описать концентрацию ОХВ, используя линейные модели, поскольку известно, что химическое заражение местности, как и много других процессов имеет существенно нелинейный характер. Нелинейные регрессионные модели сложно использовать, поскольку они чаще всего являются произведениями функций одной переменной, значения которой указываются неточно. Тогда использование соответствующей модели приведет к неточным результатам.

Еще одной моделью мог бы стать полином Колмогорова-Габора и метод группового учета аргументов для его параметрической и структурной идентификации. Высокая точность получаемых с помощью этого метода моделей является весомым аргументом в пользу его использования, но предполагаемая неточность исходных данных не позволяет осуществить адекватное его применение. Учитывая вышеизложенные особенности данных, возможных моделей и методов идентификации, решить задачу получения зависимости (1) предлагается, используя нейро-нечеткую сеть ANFIS [11], с нечетким логическим выводом в форме Цукамото [12]. Такая сеть, используемая как модель (1), объединяет в себе преимущества как обычной нейросети, а именно, минимализм требований к исходным данным и прозрачность процесса обучения, так и систем нечеткого логического вывода с возможностью интерпретации полученной модели.

Обучение сети ANFIS производится на основе табличной информации о возможных значениях параметров аварии и соответствующих концентрациях ОХВ, полученной от экспертов. Сама модель (1) в этом случае является многопараметрической, поскольку содержит большое количество функций принадлежности (в большинстве случаев гауссовских) с неизвестными значениями параметров. В их определении и заключается процесс обучения. При большом

количестве данных рационально использовать градиентные методы обучения, в противном случае используют эволюционное моделирование.

Поскольку при химических авариях возможны два варианта разрушения емкостей с ОХВ, а именно, приводящие к залповому выбросу или продленному вытеканию, то моделей типа (1) должно быть как минимум две, поскольку указанные процессы имеют разные физические особенности, вследствие чего концентрация ОХВ изменяется по разным законам.

Получение модели (1) как сложной нейронечеткой сети является длительным процессом, связанным с необходимостью определения значений большого количества параметров. Но, поскольку обучение модели происходит в доаварийный период, то такое ограничение является несущественным. Полученная модель и построенные с ее использованием поля концентрации ОХВ позволят осуществить предварительный анализ последствий возможных аварий, определить «слабые» места, возможные последствия, предположить основные варианты проведения мероприятий по ликвидации последствий аварии.

Реальные аварии, как известно, отличаются от моделированных и происходят, как правило, спонтанно вследствие комбинации действия случайных факторов. Вследствие этого невозможно спрогнозировать все возможные сценарии развития событий, параметры текущей ситуации, значения погодноклиматических факторов. Как только происходит авария, возникает комплекс событий, носящий критический субъективный характер, возникает необходимость принятия множества решений и в этом случае использование автоматизированных систем поддержки принятия решений, в основе которых лежат модели типа (1), позволяет избежать значительных ошибок.

Модель концентрации ОХВ в случае аварии значительно упрощается за счет введения в нее значений начальных параметров аварии и погодноклиматических факторов. Но, учитывая критичность многих факторов, а в первую очередь, времени, эти данные отличаются от реальных и могут привести к неправильному прогнозированию концентрации ОХВ и, как следствие, к неверным решениям ответственного лица. На практике в зону заражения выезжают специалисты и проводят измерения концентрации ОХВ. Ранее нами уже показано, что одно или два измерения позволяют осуществить коррекцию модели за короткое время и использовать ее при уточненных расчетах. Сценарий использования и коррекции модели (1) показан на рис. 2.

Корректировка и уточнение модели зависят от точности и своевременности проведения измерения концентрации ОХВ на местности. Заметим, что используемые приборы имеют высокую инерционность и немалую погрешность, что также необходимо учитывать при коррекции данных. Таким образом, приведенные модели и методы, составляют единую технологию, позволяющую осуществить сквозное

информационно-аналитическое сопровождение процессов принятия решений, а также пошаговое уменьшение неопределенности.

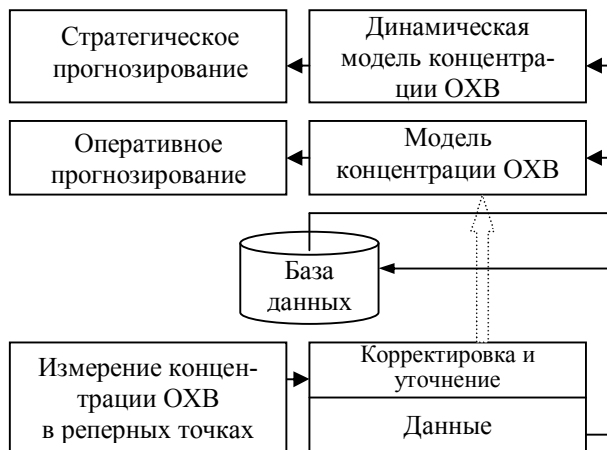


Рис. 2. Задачи и модели

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Базисом принятия адекватных решений является база знаний, некоторые элементы которой приведены на рис. 1. Кроме геоинформационных данных, законодательной информации, табличных и ретроспективных данных она содержит информацию об особенностях логистики, а также правила логического вывода. Последние позволяют осуществлять использование банка математических моделей и методов как при структурной, так и при параметрической идентификации зависимости (1). Интерактивный характер работы с СППР является необходимым условием открытости такой базы знаний, поскольку новая информация об авариях, новые модели и методы становятся неотъемлемой ее частью и используются в дальнейшем.

Основной частью базы знаний является банк математических моделей и методов, содержащий регрессионные, полиномиальные модели, гауссовские и диффузионные модели, применяемые в современных методиках, а также методы их идентификации. На каждом предприятии соответствующая база знаний должна непрерывно пополняться данными об особенностях протекаемых процессов и экспертными заключениями. При существовании разнокомпетентных экспертов предусмотрен модель для определения их компетентности на основании разных методик. Такая разноаспектная интеграция технология позволит осуществлять глубокий анализ сложившейся послеварийной ситуации и адекватное прогнозирование.

Предложенная в статье структуризация процессов принятия решений выполнена на основании проведенных ранее исследований и разработок. Она является базисом создания территориально распределенной системы по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий. Ее разработка

и использование позволят минимизировать последствия химических аварий за счет автоматизации, интеллектуализации процессов принятия решений, а также интеграции априорной информации.

Список литературы

1. Исаев С.В. Инструментальные средства проектирования интегрированных систем поддержки принятия решений по ликвидации химических аварий: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям наук)» / С.В. Исаев. – Красноярск, 1999. – 22 с.
2. Шатровская Е.В. Динамические структурные модели знаний в задачах оценивания риска сложных аварий на промышленных объектах: автореф. дисс. канд. техн. наук спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» / Е.В. Шатровская. – Красноярск, 2001. – 23 с.
3. Ноженкова Л.Ф. Технология построения экспертных геоинформационных систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: спец. 05.13.14 «Системы обработки информации и управления» / Л.Ф. Ноженкова. – Красноярск, 2000. – 34 с.
4. Михайлова П.Г. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью химических производств: дисс. канд. техн. наук: спец. 05.13.01 / Михайлова Павла Геннадьевна. – М., 2006. – 194 с.
5. Левушкина С.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению качеством атмосферного воздуха на химических предприятиях: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. «Системный анализ, управление и обработка информации» / С.А. Левушкина. – М., 2010. – 20 с.
6. Егоров А.Ф. Комплекс программных средств для анализа риска и последствий аварий на химически опасных объектах // А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, П.Г. Михайлова / Программные продукты и системы. – 2008. – № 4. – С. 138-140.
7. Ноженкова Л.Ф. Интеллектуальная поддержка прогнозирования и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Л.Ф. Ноженкова / Интеллектуальные системы. – Красноярск: КГТУ, 1997. – С. 83-99.
8. Ноженкова Л.Ф. Проектирование экспертных систем с нечеткими знаниями // Л.Ф. Ноженкова / Нейроматематика и ее приложения: Материалы IV Всеросс. Семинара. – Красноярск: КГТУ, 1998. – С. 132.
9. Ноженкова Л.Ф. ЭСПЛА – экспертная система по ликвидации аварий со СДЯЗ // Л.Ф. Ноженкова, В.И. Терешков / Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – Вып. 8. – С. 37-45.
10. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наук. думка, 2005. – 743 с.
11. Jang, J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Neuro-Fuzzy Inference System / J.-S. R. Jang // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – № 3. – С. 665-685.
12. Снитюк В.Е. Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы. – К.: Маклаут, 2008. – 364 с.

Поступила в редколлегию 11.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Рудницкий, Черкасский государственный технологический университет, Черкассы.

СТРУКТУРИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ МІНІМІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ ХІМІЧНИХ АВАРІЙ

О.М. Землянський

Розглянуто особливості процесів прийняття рішень при визначенні масштабів і ліквідації наслідків хімічних аварій. Визначено завдання, які необхідно вирішувати в доаварійний і післяаварійний періоди. Класифіковані особливості побудови моделей концентрації небезпечної хімічної речовини. Запропоновано структуру і елементний базис відповідної бази знань.

Ключові слова: хімічна аварія, концентрація, модель, метод, база знань.

RESTRUCTURING PROCESS FOR DECISION MAKING TO MINIMIZE THE EFFECTS OF CHEMICAL ACCIDENTS

O.M. Zemlianskyi

The features of decision-making processes in determining the scale and elimination of chemical accidents. The tasks that must be addressed in the pre-accident and post-accident period are suggested. Classified features of modeling the concentration of a hazardous chemical agent. A structure and elemental basis of a knowledge base is offered.

Keywords: chemical accident, concentration, model, method, knowledge base.