

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 338.27+614.8

*МАТВЕЕВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ,
БОГДАНОВА ЕКАТЕРИНА МИХАЙЛОВНА*

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены подходы к прогнозированию чрезвычайных ситуаций. Представлена классификация методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Обоснованы перспективы применения экспертных методов прогнозирования, статистических методов, методов физико-математического моделирования. Рассмотрена суть каждого из методов, определены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: прогнозирование; методы; чрезвычайная ситуация; пожар; классификация; статистические методы; адаптивные методы прогнозирования; анализ риска.

*MATVEEV A. V.,
BOGDANOVA E. M.*

THE CLASSIFICATION FOR THE METHODS OF PREDICTION EMERGENCY SITUATIONS

ABSTRACT

The article discusses the approaches to the prediction emergency situations. The classification for the methods of prediction emergency situations is presented. The possibilities of the application the expert prediction methods, the statistical methods, the methods of physical and mathematical modeling are substantiated. The essence of each method is considered, their advantages and disadvantages are defined.

Keywords: prediction; methods; emergency; fire; classification; statistical methods; adaptive prediction methods; risk analysis.

Введение

Настоящий период характеризуется развитием глобальных проблем, потенциально приводящим к росту чрезвычайных ситуаций, как в природной, техногенной, так и социальной сферах. К ним можно отнести глобальное изменение климата, постоянный рост масштаба техногенной сферы, проблемы терроризма, негативные явления, вызванные глобализацией и др.

В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам безопасности жизнедеятельности, техносферной безопасности, экологии, охране окружающей среды и в связи с этим – прогнозированию кризисных и чрезвычайных ситуаций (ЧС)

природного и техногенного характеров и их последствий. Планирование и принятие адекватных управленческих решений в области обеспечения безопасности, предупреждения и снижения последствий ЧС невозможно без решения задач прогнозирования. Для решения этих задач необходим комплексный подход, который требует использования больших объемов экологической, картографической и другой количественной информации о состоянии компонент природной среды, что практически невозможно без применения развитых математических методов, программно-аналитических и программно-аппаратных средств

информационных и телекоммуникационных технологий [1].

Поэтому разработка и создание общих методик математического обеспечения, применения современных информационных технологий, включая соответствующие программные средства для моделирования и прогнозирования ЧС и их последствий, является актуальной задачей для служб разного уровня в государственной структуре по предупреждению ЧС и ликвидации их последствий [2].

Процессы управления включают процессы сбора информации о состоянии объектов управления и внешней среды, обработку этой информации, принятие решения и доведения принятого решения до исполнителей. Реализация этих процессов требует определенных затрат времени. Поэтому решения, принятые без учета изменений в состоянии объектов управления за время цикла управления, не в полной мере отвечают ситуации, когда начинается их реализация исполнителями. Другими словами, эффективное управление невозможно без прогнозирования изменений ситуации, характеризующей состояние объекта управления и внешней среды.

К задачам прогнозирования могут быть отнесены следующие ситуации:

- прогнозирование частоты чрезвычайных ситуаций (например, паводков, пожаров и др.) и их последствий;
- прогнозирование ущерба, гибели людей, числа пострадавших в конкретной чрезвычайной ситуации;
- прогнозирование потребности в специалистах по конкретным видам деятельности в области обеспечения безопасности;
- и др.

Часть этих проблем прогнозирования носит скорее методологический характер и математическое моделирование для их решения не пригодно. Решение других проблем предполагает возможность применения формальных, в частности, математических методов, третьи проблемы могут быть решены только формальными методами.

Прогнозирование – это научное обоснование вероятного состояния объекта или процесса (или их параметров) в будущие моменты времени при определенных условиях среды его функционирования. Прогнозирование (а не предсказание) должно

опираться на объективные методики, в первую очередь, на математические методы.

Прогнозирование ЧС затруднено множеством обстоятельств:

- процессы развития могут состоять из участков постепенного (эволюционного) изменения и участков скачкообразного (революционного) изменения. Возможность появления резких изменений в протекании процессов затрудняет прогнозирование;
- наличием неопределенности и различного рода случайных факторов (усталость металлоконструкций, старение электроизоляции), затрудняющих изучение исследуемого процесса;
- непознанностью процессов и явлений (землетрясений, смерчей, цунами);
- сложностью решения задач, недостатка исходных данных (прогнозирование погоды требует густой сети метеостанций по все поверхности земного шара, а для расчета сверх суперЭВМ);
- влиянием человеческого фактора.

Проведенный анализ показывает, что в настоящее время существует огромное количество методов и способов прогнозирования, которые различаются по большому числу классификационных признаков, таких как: принцип действия, способ получения прогнозной информации, степень формализации, уровень сложности и др.

Выбор применения того или иного метода для прогнозирования определяется исходя из целей прогнозирования, имеющегося объема исходных данных, периода прогнозирования, квалификации прогнозистов [3], наличия временных ресурсов, а также имеющихся в распоряжении сил и средств.

В данной статье предпринята попытка классификации методов для прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Методы прогнозирования ЧС

Разработка адекватных моделей прогнозирования ЧС представляет собой актуальную и практически важную задачу. Одной из главных научных проблем в области развития технологий прогнозирования является повышение достоверности прогнозных моделей.

Существуют различные подходы к классификации методов и моделей прогнозирования [4-7].

Вид классификационной схемы во многом определяется предметной областью, в которой проводит свои исследования тот или иной ученый.

Все методы прогнозирования ЧС можно разделить на две большие группы в зависимости от степени формализации: интуитивные (экспертные) и формализованные (рис. 1).

1. Интуитивные (экспертные) методы прогнозирования

Интуитивные методы прогнозирования используются тогда, когда описание объекта математическими формулами практически затруднено или в принципе невозможно по причине отсутствия исходных статистических данных.

Применение данных методов позволяет получить прогнозную оценку состояния развития объекта исследования в будущем независимо от имеющейся информационной обеспеченности. Суть интуитивных методов заключается в построении некоторого алгоритма интуитивно-логического мышления экспертов в сочетании с количественными методами оценки и обработки полученных результатов. Решение проблемы в этом случае основывается на обобщенной оценке экспертов.

Интуитивные методы прогнозирования, в свою очередь, по общему принципу действия подразделяются на индивидуальные и коллективные экспертные оценки [5].

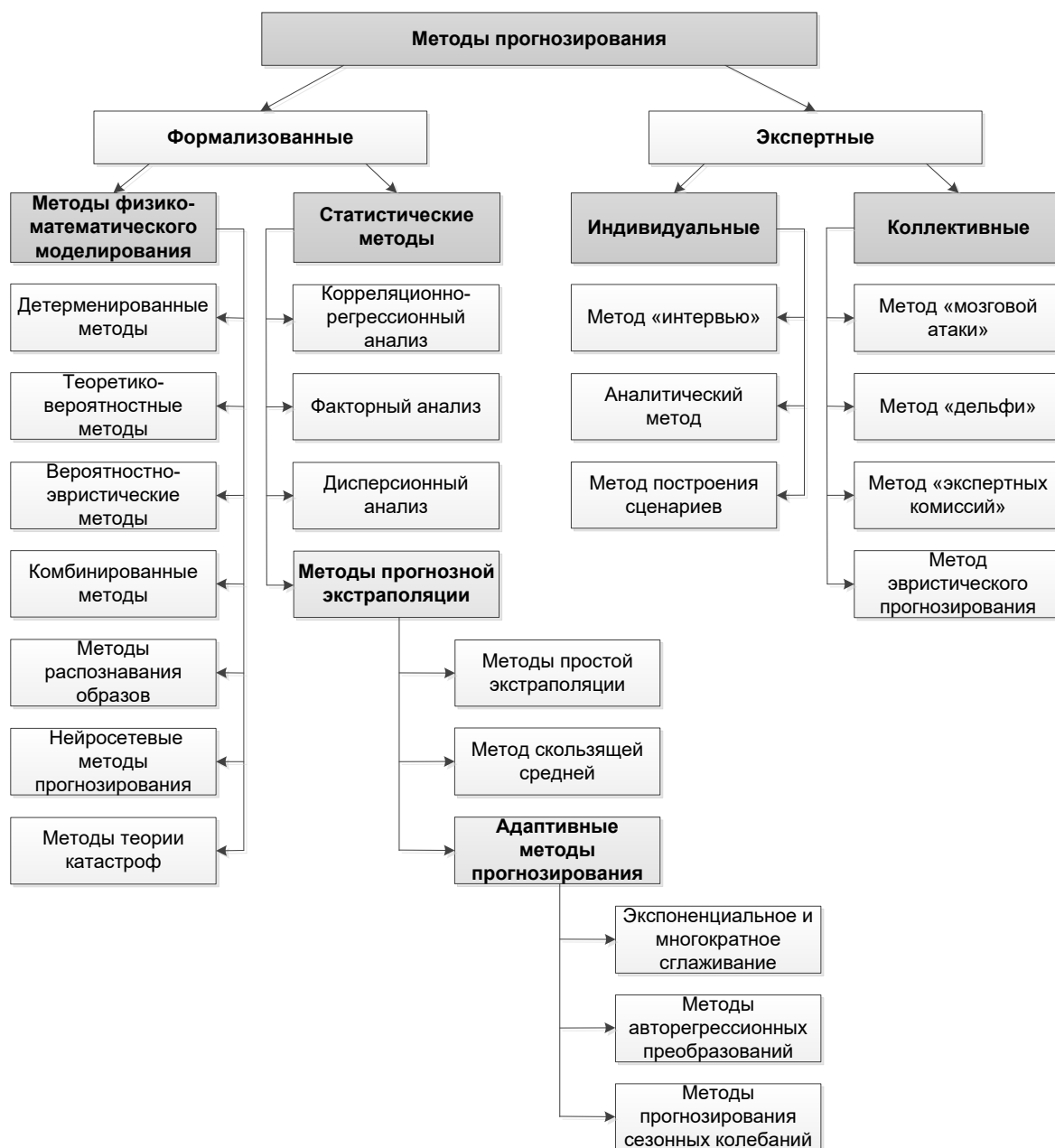


Рисунок 1 – Классификация методов прогнозирования

Методы индивидуальных экспертных оценок базируется на обобщении мнений отдельных экспертов, выраженных независимо друг от друга. Сущность данных методов заключается в том, что каждый эксперт лично оценивает вероятности наступления событий.

К методам индивидуальных экспертных оценок относят такие методы, как метод «интервью», при котором реализуется прямой контакт эксперта со специалистом по схеме «вопрос–ответ»; аналитический метод, при котором проводится логический анализ какой-либо прогнозируемой ситуации и составляются аналитические докладные записки; метод построения сценариев, в основе которого лежит определение логики процесса или явления во времени при различных условиях.

Методы коллективных экспертных оценок предполагают совместную работу нескольких экспертов, в результате которой формулируется коллективное мнение о дальнейшем развитии объекта прогнозирования. К данной группе методов относятся метод эвристического прогнозирования, метод Дельфи, метод «мозговой атаки», метод экспертных комиссий.

Метод эвристического прогнозирования базируется на построении и последующем усечении «дерева поиска» экспертной оценки с использованием какой-либо эвристики. Метод предполагает специальную обработку прогнозных экспертных оценок, полученных путем систематизированного опроса высококвалифицированных специалистов в данной предметной области.

Суть метода «Дельфи» заключается в анонимном опросе экспертов с помощью опросных листов (анонимных анкет) и последующем обобщении результатов опроса в согласованное коллективное мнение. Опросные листы содержат перечень вопросов по существу проблемы, а также информацию, высказанную экспертами на предыдущих этапах опроса. Предполагается, что члены экспертной группы, учитывая мнения своих коллег, будут вносить поправки, что позволит сформировать согласованное мнение экспертов по решению проблемы.

Метод «мозговой атаки» подразумевает применение творческого потенциала экспертов при поиске решений проблемы и основывается на коллективной выработке различных идей, генерации принципиально новых идей и выработке согласованной точки зрения.

Метод «экспертных комиссий» предполагает анализ и разработку прогноза развития исследуемого объекта экспертами, объединенными в комиссию. Данный метод по форме организации является наиболее простым и подразумевает коллективное обсуждение проблемы с целью выработки согласованного мнения.

Полученные при применении интуитивных методов индивидуальные и коллективные экспертные оценки могут использоваться, как конечные прогнозы, а также как исходные данные в комплексных системах прогнозирования.

К достоинствам экспертных методов относят их простоту и доступность, а также возможность привлечения большого числа экспертов.

Основным недостатком экспертных методов является тот факт, что мнение эксперта формируется под влиянием личного отношения к исследуемым объектам, т.е. отсутствует объективный подход к действительности. В связи с этим появляется вероятность получения прогнозных ошибок, особенно в условиях изменяющейся окружающей среды. Кроме того, возможность адекватного применения данных методов явно зависит от наличия экспертов, знакомых с прогнозируемой ситуацией.

2. Формализованные методы прогнозирования

Сущность формализованных методов заключается в построении прогнозов с помощью формальных средств математической теории, которые дают возможность повысить достоверность и точность прогнозов, а также значительно уменьшить сроки их выполнения, упростить процедуру обработки информации и оценки результатов прогнозирования ЧС.

По общему принципу действия формализованные методы прогнозирования можно разделить на статистические методы (в том числе методы прогнозной экстраполяции) и методы физико-математического моделирования.

2.1. Статистические методы прогнозирования

Среди формализованных методов прогнозирования ЧС широкое распространение получили статистические методы [8]. Это связано, прежде всего, с тем, что основу статистических методов составляет аппарат анализа, применяющийся в практике прогнозирования на протяжении долгого времени.

К статистическим методам прогнозирования относятся методы экстраполяции и группа методов, позволяющих строить зависимости изучаемых параметров, связанных с определенными показателями ЧС, от ряда факторов, на них влияющих (метод корреляционно-регрессионного анализа, дисперсионного и факторного анализа). Зависимости связывают возможные потенциальные условия и характер их влияния на изучаемые показатели ЧС, не используя при этом никакие функциональные зависимости.

Методы корреляционно-регрессионного анализа позволяют вскрыть причинно-следственные отношения между явлениями, установить зависимость между состоянием объекта в прошлом, настоящем и будущем. В процессе корреляционного анализа выявляется мера зависимости между случайными переменными. *Регрессионный анализ* устанавливает конкретный вид статистической зависимости между случайными переменными. Отличительной особенностью этой группы методов является построение аналитических выражений, отображающих статистическую связь исследуемого показателя с совокупностью независимых признаков. К достоинствам метода относится его универсальность, широкий набор статистических зависимостей, используемых для описания характера взаимодействия признаков; возможность включения в статистическую модель в качестве самостоятельной переменной фактора времени.

Задача *факторного анализа* заключается в том, что статистические зависимости между большим числом случайных переменных определяются существованием меньшего числа случайных переменных, так называемых «факторов». При факторном анализе проводится оценка числа факторов, необходимого для объяснения зависимости между случайными переменными, оценка структуры влияния факторов на случайные прогнозируемые переменные.

Цель дисперсионного анализа заключается в исследовании наличия или отсутствия существенного влияния какого-либо качественного или количественного фактора на изменения исследуемого результативного показателя ЧС. Для этого фактор, предположительно имеющий или не имеющий существенного влияния, разделяют на группы

(классы градации) и выясняют, одинаково ли влияние фактора путем исследования значимости между средними в наборах данных, соответствующих градациям фактора.

Процесс прогнозирования при использовании статистических методов разбивается на несколько этапов.

На первом этапе выполняется сбор и обобщение данных за некоторый временной период. На основе обобщенных данных создается модель процесса, представленная в виде аналитически выраженной тенденции развития (экстраполяция тренда) или в виде функциональной зависимости от одного или нескольких факторов – аргументов (уравнения регрессии). Создание модели процесса для прогнозирования предполагает подбор формы уравнения, которое будет описывать динамику и взаимосвязь явлений, а также оценивание параметров уравнения с помощью различных методов.

На втором этапе с помощью найденных закономерностей вычисляется ожидаемое значение прогнозируемого показателя, величины или признака, т.е. осуществляется непосредственно сам прогноз.

Полученные прогнозные значения нельзя считать окончательными, поскольку их оценка должна производиться с учетом всех факторов, условий и ограничений, которые не были учтены при разработке модели. Необходимо выполнять корректировку значений в соответствии с ожидаемым изменением обстоятельств их формирования.

На практике встречаются ситуации, когда статистическая обработка исходных данных не будет являться прогнозом, но в тоже время она играет существенную роль в самом процессе разработки прогноза.

В настоящее время проведено большое количество исследований в области перспективного анализа, и, несомненно, успешность прогнозов, полученных при статистическом моделировании, в значительной степени зависит от эмпирического анализа данных, а именно от того, в какой степени анализ сможет объяснить закономерности поведения изучаемого процесса.

Ко второй группе статистических методов прогнозирования относятся методы экстраполяции, в основе которых лежит анализ временных рядов [9]. Экстраполяция предполагает продление в будущее наблюдавшейся в прошлом тенденции.

Под методом простой экстраполяции понимают классический *метод наименьших квадратов*, состоящий в минимизации суммы квадратических отклонений между наблюдаемыми и расчетными величинами. Расчетные величины находятся по подобранному уравнению – уравнению регрессии. Чем меньше расстояние между фактическими значениями и расчетными, тем более точен прогноз, построенный на основе уравнения регрессии. Метод наименьших квадратов широко применяется при прогнозировании в силу своей простоты и возможности реализации на компьютере. Недостаток данного метода состоит том, что модель тренда жестко фиксируется, а это делает возможным его применение только при наличии явной тенденции и при небольших периодах упреждения, то есть при краткосрочном прогнозировании.

Другим наиболее простым и известным является метод скользящей средней, осуществляющий выравнивание временного ряда. Суть метода заключается в замене фактических уровней ряда расчетными средними, в которых погашаются колебания.

К экстраполяционным методам относится группа *методов адаптивного прогнозирования*, основанных на том, что коэффициенты в расчетных формулах не остаются постоянными, а регулярно пересматриваются по мере поступления новой информации, в результате чего происходит адаптация модели к изменившимся условиям [10]. В данных моделях прогнозирования входит единственный фактор – время.

Наиболее распространенным среди адаптивных методов является метод экспоненциального сглаживания (метод Брауна), который дает возможность получить оценки параметров тренда, характеризующих не средний уровень процесса (как в методе скользящей средней), а тенденцию, сложившуюся к моменту последнего наблюдения. Отличие от методов простой экстраполяции и метода скользящей средней заключается в том, что всем значениям уровня ряда присваиваются различные веса. Этот метод позволяет оценить параметры модели, описывающей тенденцию, которая сформировалась в конце базисного периода. Он не просто экстраполирует действующие зависимости в будущее, а приспособливается, адаптируется к изменяющимся условиям во времени.

Достоинства метода проявляются в его относительной простоте, гибкости математического аппарата, возможности ограниченного массива исходных данных, сравнительно высокой точности конечного результата. К недостаткам можно отнести то, что, как правило, данные методы применяются для разработки прогнозов с небольшим сроком упреждения (при кратко- и среднесрочном прогнозировании).

Обобщением метода обычного экспоненциального сглаживания является метод многократного сглаживания [11], при котором сглаживание на каждом участке производится по полиномам k -го порядка (метод Хольта). Данный метод применяется для временных рядов с выраженным трендом. Оценка коэффициентов полиномиальных членов производится путем многократного сглаживания [12]. Здесь также предполагается, что значения коэффициентов полиномов будут меняться медленно и оценки этих величин будут основываться в большей степени на последних наблюдениях.

Еще одним подходом к описанию основной тенденции временного ряда и прогнозированию является метод авторегрессионных преобразований. Для построения прогнозной модели изначально требуется провести оценку наличия автокорреляции в исходном временном ряду. Авторегрессионная модель будет выражать значения прогнозного показателя для стационарного процесса в виде линейной комбинации конечного числа предшествующих значений этого показателя и аддитивной случайной составляющей. При этом весовые коэффициенты учитываемых в модели предыдущих наблюдений не ранжированы. Информационная ценность наблюдений определяется не их близостью к моделируемому уровню, а теснотой связи между ними. Помимо стандартных авторегрессионных моделей широкое применение имеют авторегрессионные модели со скользящими средними в остатках (ARMA), модели авторегрессии – интегрированного скользящего среднего (ARIMA) Бокса-Дженкинса [4, 13].

Также к статистическим методам прогнозирования ЧС является группа методов прогнозирования сезонных колебаний. Методика статистического прогноза по сезонным колебаниям основана на их экстраполяции, т.е. на пред-

положении, что параметры сезонных колебаний сохраняются до прогнозируемого периода. Для измерения сезонных колебаний обычно рассчитываются индексы сезонности. Среди методов, нашедших практическое применение в прогнозировании ЧС, можно выделить модель экспоненциального сглаживания с мультипликативной сезонностью и линейным ростом (модель Хольта-Уинтерса), модель экспоненциального сглаживания с аддитивной сезонностью и линейным ростом (модель Тейла-Вейджа) [14].

Построенные на практике прогнозные модели ЧС (в том числе пожаров) показали, что применение адаптивных методов, которые основаны на методах Брауна, Хольта, авторегрессии и др. дает достаточно точные результаты для кратко- и среднесрочного прогнозирования [8, 14-16].

2.2. Методы физико-математического моделирования

Вторую группу формализованных методов прогнозирования составляют физико-математические методы прогнозирования. При физико-математическом моделировании выделяют такие методы прогнозирования, как детерминированные, вероятностные (вероятностно-статистические, теоретико-вероятностные, вероятностно-эвристические), комбинированные, методы распознавания образов, нейросетевые методы прогнозирования, теории катастроф.

Суть физико-математических методов заключается в следующем. На первом этапе с помощью известных математических методов производится обработка имеющихся данных об отдельных характеристиках объекта прогнозирования. На следующем этапе разрабатывается модель объекта прогнозирования. В результате получают зависимости, связывающие некоторые характеристики прогнозируемого объекта во времени. С помощью полученных зависимостей производится вычисление характеристик объекта в нужный момент времени.

Суть детерминированных методов прогнозирования заключается в анализе конкретных стадий развития аварий исследуемых объектов, от начального события через последовательность предполагаемых отказов до конечного состояния. Сам процесс реализуется при помощи математических

моделей протекающих на объектах физических процессов. К недостаткам таких методов относят: возможность упустить редко реализующиеся, но важные цепочки развития аварий; сложность построения адекватных математических моделей; необходимость проведения дорогостоящих экспериментальных исследований.

Вероятностные методы основываются на оценке вероятности возникновения аварийной ситуации и расчете относительных вероятностей различных путей развития процесса. Данный метод предполагает исследование всех возможных цепочек событий и отказов, и далее, с помощью подходящего математического аппарата оценку полной вероятности аварийной ситуации (построение и анализ деревьев отказов, построение и анализ деревьев событий) [17-19]. Основное преимущество вероятностных методов над детерминированными заключается в том, что они предполагают использование существенно упрощенных расчетных математических моделей. Однако использование таких моделей влияет на достоверность получаемых оценок. Тем не менее, в настоящее время вероятностные методы считаются наиболее перспективными и нашли широкое применение при анализе рисков и прогнозировании ЧС [20].

Вероятностные методы классифицируются на вероятностно-статистические, теоретико-вероятностные и вероятностно-эвристические [21].

В вероятностно-статистических методах все вероятности определяются по имеющимся статистическим данным. Основные ограничения таких методов связаны с недостаточной статистикой по отказам оборудования. Кроме того, применение упрощенных расчетных схем снижает достоверность получаемых оценок риска для тяжелых аварий.

Теоретико-вероятностные методы применяются для оценки рисков таких событий, вероятность наступления которых значительно мала. Эти методы используются тогда, когда не получены статистические данные о событии за наблюдаемый период времени.

Вероятностно-эвристические методы основываются на использовании субъективных оценок вероятности экспертов, что позволяет комплексно оценить риски. Позволяют оценить комплексные риски от совокупности опасностей, когда отсут-

ствуют не только статистические данные, но и математические модели (или их точность слишком низка).

Комбинированные методы предполагают использование различных сочетаний рассмотренных методов (детерминированных, вероятностно-статистических, теоретико-вероятностных, вероятностно-эвристических).

Также находят широкое применение для прогнозирования методы распознавания образов. Методы распознавания образов используются при описании и прогнозировании состояния определенного объекта по набору признаков, определяющих состояние данного объекта. Процесс прогнозирования при данном методе заключается в том, что вводятся некоторые классы состояний рассматриваемых объектов, которые задаются определенными количественными характеристиками или диапазонами изменения некоторых параметров. На основе всей совокупности признаков, соответствующих состоянию исследуемого объекта, определяется принадлежность объекта (в настоящий или какой-то будущий момент времени) к определенному классу. Это позволяет спрогнозировать состояние исследуемого объекта или указать диапазон изменения параметров, характеризующих его на прогнозный период. Например в работе [22] был использован данный подход на основе применения наивного байесовского классификатора.

Методы распознавания образов при прогнозировании ЧС с успехом могут быть использованы в совокупности с другими методами прогнозирования, например, регрессионным анализом.

Использование традиционных физико-математических методов (детерминированных, вероятностных) иногда бывает весьма затруднительно по причине плохой формализуемости задачи, большого количества факторов, влияющих на риски ЧС. Достаточно перспективным инструментом для выявления скрытых закономерностей, построения на их основе математических моделей прогнозирования ЧС являются нейросетевые методы прогнозирования (методы искусственного интеллекта). В настоящее время нейронные сети используются для решения целого ряда задач, одной из которых является задача прогнозирования [23]. Нейронные сети реализуют идеи предсказания и классифика-

ции при наличии обучающих последовательностей, для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ. Сеть способна к обучению обобщению накопленных ранее знаний.

Важнейшая особенность сети, свидетельствующая о ее широких возможностях и огромном потенциале, состоит в параллельной обработке информации всеми звеньями, что позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Кроме того, при большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях [24].

Достаточно новыми в теории прогнозирования ЧС являются методы теории катастроф, предназначенной для исследования сложных нелинейных систем [25]. Ее основой является теория особенностей гладких (дифференцируемых) отображений, сформировавшаяся на стыке топологии и математического анализа, и являющаяся обобщением задач на экстремум в математическом анализе. Элементарная теория катастроф сводит огромное многообразие ситуаций к небольшому числу стандартных схем, которые можно детально исследовать [26, 27]. Анализ качественного поведения нелинейных динамических систем при изменении описывающих их параметров, позволяет описывать состояния, далёкие от равновесия, а также предсказывать резкую смену этих состояний.

Заключение

Представленная классификация методов прогнозирования ЧС носит исключительно характер систематизации, при этом она не дает теоретических и практических рекомендаций по выбору используемого метода в каждой конкретной ситуации ни по точности прогноза, ни по глубине прогнозирования.

Выбор конкретного метода зависит, в том числе, и от вида прогнозируемых ЧС. Так, например, прогнозирование природных и биологосоциальных ЧС обладает большей степенью неопределенности, чем прогнозирование техногенных ЧС, где чаще используются формализованные методы.

Результаты прогнозов ЧС являются крайне важными для разработки перспективных и текущих планов предупреждения и ликвидации ЧС,

планирования сил и средств, научного обоснования соответствующих программ снижения масштабов и смягчения последствий ЧС, обоснования сосредоточения основных усилий органов управления в области обеспечения безопасности.

Разработка целенаправленных управленческих решений по обеспечению необходимого уровня безопасности при возможных техногенных и природных воздействиях, обеспечению жизни и здоровья людей требует совершенствования и внедрения информационных технологий управления, использующих все самые современные методы оценки и прогнозирования, что играет важнейшую стратегическую роль как для системы МЧС России, так и всего общества в целом.

Список литературы

1. *Матвеев А.В., Матвеев В.В., Потапов Б.В.* Основы теории анализа и управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций: монография в 2 Т. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2003. – 407с.
2. *Садков В.Г., Калмыков А.В.* Формирование целостной многоуровневой системы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – Т. 8. – № 30 (71). – С. 47-50.
3. *Матвеев А.В.* Подготовка кадров для информационно-аналитической деятельности в сфере прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2015. – № 4 (12). – С. 109-113.
4. *Тихонов Э.Е.* Методы прогнозирования в условиях рынка: учеб. пособие. – Невинномыск, 2006.
5. *Мамонтов Д.В., Селезнев С.В.* Классификация методов и моделей прогнозирования // Устойчивое развитие горных территорий. – 2014. – № 1. – С. 51-55.
6. *Артеменко М.В., Бабков А.С.* Классификация методов прогнозирования поведения систем // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 158.
7. *Михайлова Е.Б.* Проблема классификации моделей и методов прогнозирования // Учет и статистика. – 2017. – № 1 (45). – С. 75-81.
8. *Новоселов С.В., Панихидников С.А.* Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 10. – С. 60-71.
9. *Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М.* Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 320 с.
10. *Богданова Е.М., Матвеев А.В.* Алгоритм метода адаптивного прогнозирования пожаров // «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение комплексной безопасности жизнедеятельности населения»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 27 сентября 2017. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – с. 94-97.
11. *Лукашин Ю.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Мир, 2003.
12. *Богданова Е.М.* Полиномиальные модели прогнозирования пожаров на территории Республики Карелия // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 746-754.
13. *Трусова А.Ю., Ильина А.И.* Моделирование и анализ динамических данных // Вестник СамГУ. – 2013. – №7(108). – С. 127-133.
14. *Матвеев А.В., Богданова Е.М.* Прогнозирование пожаров на территории Республики Карелия на основе модели Хольта-Уинтерса // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. 26 октября 2018. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – с. 131-134.
15. *Богданова Е.М.* Прогнозирования пожаров на основе авторегрессионных моделей // В сборнике: Применение математических методов к решению задач МЧС России: Сборник трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. 2018. – С. 52-58.
16. *Богданова Е.М.* Авторегрессионные модели прогнозирования пожаров на территории Республики Карелия // Комплексные проблемы технологической безопасности. Актуальные вопросы безопасности при формировании культуры безопасной жизни: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. 2018. – С. 36-42.

17. *Куприенко П.С.* Анализ, оценки риска и ущерба, моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций на объектах техносферы // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т. 4. – № 11. – С. 172–177.
18. *Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.П.* Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. – 2012. – Т. 9. – № 1 (31). – С. 70–79.
19. *Варнаков В.В., Варнаков Д.В., Неберикутя И.А.* Обоснование методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Международный научный журнал. – 2011. – № 1. – С. 94–97.
20. *Белов П.Г.* Стратегическое планирование развития и обеспечения национальной безопасности России: прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2015. – № 1 (9). – С. 47–58.
21. *Мастрюков Б.С.* Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий: учебное пособие для вузов. М.: АCADEMIA, 2011. – 368с.
22. *Матвеев А.В., Максимов А.В., Щербаков О.В., Смирнов А.С.* Метод оценки достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 1. – С. 35–49.
23. *Киндаев А.Ю., Шишов В.Ф.* Нейросеть как инструмент прогнозирования показателей городских пожаров // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. – 2014. – № 1 (4). – С. 252–260.
24. *Солдатова О.П., Семенов В.В.* Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования // Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/136.pdf>
25. *Байда С.Е.* Природные, техногенные и биолого-социальные катастрофы: закономерности возникновения, мониторинг и прогнозирование. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – 194 с.
26. *Бурцева А.Д., Воронов М.П.* Теория катастроф: подходы к исследованию и применение // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 8. – С. 43–52.
27. *Бураковский Е.П., Бураковский П.Е., Прохнич В.П., Нечаев Ю.И.* Проблемы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций методами современной теории катастроф // Морские интеллектуальные технологии. – 2012. – № 2 (16). – С.50–60.

Статья поступила в редакцию 14 сентября 2018 г.

Принята к публикации 3 декабря 2018 г.