

УДК 69.035.4

Е.Ю. Куликова

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Прогнозирование и мониторинг окружающей среды – два аспекта управления экологической безопасностью при строительстве подземных сооружений. Представлены блок-схема и этапы прогнозирования, а также связь прогнозирования с мониторинговыми исследованиями.

Ключевые слова: прогнозирование, мониторинг, геосистема, техногенное воздействие, метод, моделирование.

В настоящее время вопросам прогнозирования посвящено много работ. Можно прогнозировать от имеющихся знаний и ресурсов, постепенно проникая в будущее. Этот путь называется *изыскательским прогнозированием*. С другой стороны, можно сначала определить будущие цели и ориентиры, которых хотелось бы достичь в будущем, и уже от них постепенно двигаться к настоящему, увязывая желания с возможностями. Это называется *нормативным (целевым) прогнозированием*, так как заранее определяется (нормируется) конечная цель. В науках о Земле используются оба эти пути.

Область научного прогноза является существенной частью любого исследования, любой отрасли знаний. Для сознательного воздействия на природные явления необходимо познать их характер и уметь их прогнозировать. В разработке основ различных видов прогнозирования все большее развитие получают математические методы – построение различных моделей на математических принципах.

Прогнозирование состояния природно-технической геосистемы «породный массив – технология – под-

земное сооружение – окружающая среда» является одним из важных инструментов, позволяющих снизить неопределенность в оценке вновь возникающих факторов и развития неблагоприятной ситуации при освоении подземного пространства и с учетом этого принять правильное решение по выходу из нее. В настоящее время предпочтение отдается прогнозированию, основанному на научных методиках, объективно отражающих происходящие в природе и природно-технической геосистеме процессы и влияющие на них факторы. Однако не исключаются и интуитивные прогнозы, базирующиеся на большом опыте и высокой квалификации лиц, высказывающих свой взгляд на развитие событий, предсказывающих их конечный результат.

Прогнозирование – это исследовательский процесс, результатом которого являются вероятностные данные о будущем состоянии прогнозируемого объекта, включая данные о вероятности возникновения аварии или катастрофы и путей их развития, если речь идет, например, о подземном объекте.

Под прогнозированием техногенных воздействий, связанных с ава-

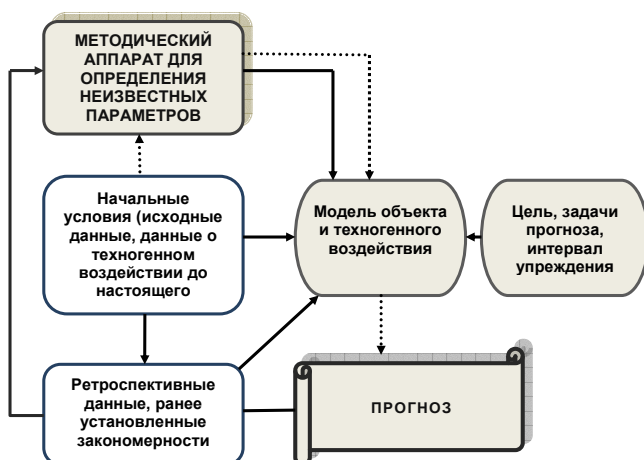


Рис. 1.1. Блок-схема прогнозирующей системы:
 — — вычислительные операции, — исследовательские (аналитические операции)

риями, понимается исследовательский процесс, осуществляемый с целью получения вероятностных суждений о возникновении аварии, характере и параметрах сопровождающих ее явлений и воздействий в будущем. Под прогнозной оценкой техногенных воздействий имеется в виду сопоставление прогнозируемых параметров, которыми характеризуются возможность возникновения аварии катастрофического характера и сопровождающие ее воздействия на окружающую среду, с научно обоснованными приемлемыми значениями.

В общем случае прогнозирующая система может включать математические, логические и эвристические элементы. На вход системы поступает имеющаяся к настоящему моменту времени информация о прогнозируемом природном явлении, технологическом процессе, подземном объекте; на выходе системы выдаются данные о будущих параметрах явления, технологического процесса (состоянии подземного объекта), то есть прогноз. Блок-схема прогнозирующей системы приведена на рис. 1.

Данная блок-схема отражает процесс прогнозирования для какого-либо одного вида техногенного воздействия (аварии определенного вида). Руководствуясь этой схемой, можно произвести в отдельности прогнозирование каждого из возможных видов техногенного воздействия (аварий или катастроф).

В соответствии с рассматриваемой блок-схемой первым этапом при прогнозировании является сбор и анализ необходи-

мой исходной информации, касающейся источников, факторов и параметров процессов, могущих привести к аварии катастрофического характера, антропогенного воздействия, сопровождающую такую аварию в ретроспективе и в настоящее время.

Значительная часть указанной исходной информации может быть получена в блоке комплексного мониторинга, где предусматривается наблюдение за источниками, факторами антропогенного воздействия и собственно антропогенным воздействием на окружающую среду. Частично исходная информация для прогнозирования вырабатывается также блоком мониторинга, связанным с оценкой уровней антропогенного воздействия. К исходной информации могут быть также отнесены некоторые закономерности протекания процессов в данной предметной области.

Второй этап прогнозирования состоит в создании математической модели процесса техногенного воздействия рассматриваемого вида на окружающую среду, а также методического аппарата для определения не-

известных параметров модели. Указанный методический аппарат разрабатывается с учетом данных ретроспективного анализа моделируемого процесса техногенного воздействия.

При этом важная роль принадлежит установлению эмпирических или подтверждению теоретических закономерностей формирования факторов техногенного воздействия.

При создании модели процесса техногенного воздействия исходят из целей и задач прогнозирования и учитывают интервал упреждения (заданный отрезок времени с момента производства прогноза до момента в будущем, для которого этот прогноз делается).

Третьим этапом прогнозирования является проведение необходимых расчетов и визуализация их результатов. Результаты расчетов должны быть представлены в виде, удобном для оценки антропогенного воздействия на объекты окружающей среды.

На заключительном четвертом этапе прогнозирования производится оценка адекватности модели реальным процессам и достоверности получаемой прогнозной информации. При этом могут использоваться различные методы.

Так как будущая ситуация, связанная с техногенным воздействием, зависит от многих факторов стохастической природы и характеризуется неопределенностью, весьма подходящим в данном случае является метод максимума правдоподобия.

Указанный метод основывается на вероятностном подходе. Главная идея метода заключается в определении так называемой функции правдоподобия. В качестве этой функции обычно принимается условная плотность вероятности

$$P(y(a_1, a_2, \dots, a_n)), \quad (1)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – подлежащие оценке параметры и модели; y – выборочные наблюдения (измерения) прогнозируемой величины, например, концентрация вредного вещества в породном массиве при применении химукрепления грунтов, на участке наблюдения y_1, y_2, \dots, y_m .

После определения функции правдоподобия она максимизируется относительно $\bar{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$.

Таким образом, решается задача о нахождении наилучшей оценки параметров модели \bar{a} на основе наблюдений (измерений) прогнозируемой величины y на участке наблюдений y_1, y_2, \dots, y_m . По существу, дается ответ на вопрос о том, при каких значениях параметров модели техногенного воздействия наиболее вероятно появление совокупности значений прогнозируемой величины y_1, y_2, \dots, y_m .

Широкое применение в задаче прогнозирования находит и достаточно известный метод наименьших квадратов, являющийся частным случаем метода максимального правдоподобия, когда искажения (помехи), накладывающиеся на детерминированную часть прогнозируемого процесса, аддитивны и имеют нормальное распределение.

Кроме упомянутых выше, применяются и иные методы. Например, метод, основанный на определении минимума максимального отклонения параметров детерминированной части модели от их экспериментальных значений, и др.

Математические методы, применяемые для получения прогнозной оценки техногенных воздействий, условно могут быть подразделены на две группы:

– методы математического моделирования процессов распространения вредных веществ, фронтов ударных волн при буровзрывном способе строительства, электромагнитных излучений определенной интенсивности и т.п.;

– методы, основанные на экстраполяции результатов многолетних наблюдений за техногенными воздействиями на определенные моменты времени в будущем.

Методы прогнозирования, связанные с экстраполяцией (статистические методы), обладают определенными особенностями. Прогнозирование производится с помощью модели, выработанной на основе обработки и анализа статистического материала по техногенным воздействиям рассматриваемых видов. Такими методами осуществляется, например, прогнозирование загрязнения воздушной среды городов и промышленных зон вредными химическими веществами, выбрасываемыми производственными и другими объектами при нормальных условиях их эксплуатации.

По результатам прогнозирования производится оценка техногенных воздействий. При этой оценке прогнозируемые параметры, характеризующие техногенные воздействия, сравниваются с их критериальными значениями.

На основе этого сравнения проводится соответствующий анализ и формируются выводы о целесообразности проведения тех или иных природоохранных мероприятий. В этом состоит главный принцип оценки техногенных воздействий.

В числе критериев уровней техногенного воздействия могут быть приняты предельно допустимые концентрации тех или иных вредных ве-

ществ, допустимые уровни загрязнения поверхностей, предельно допустимые уровни шумов, электромагнитных излучений, тепловых потоков, температурного градиента и т.д. Критериальные значения параметров соответствуют научно обоснованным приемлемым уровням техногенных воздействий.

Анализ и оценка прогнозируемых параметров техногенных воздействий зачастую являются многофакторными и связаны с развязкой неопределенностей. Это требует применения системного подхода и привлечения соответствующего математического аппарата.

Существуют несколько видов и направлений научного прогноза. Различают прогнозы климатические, геологические, гидрогеологические, гидрометеорологические и т. д. Бывают прогнозы кратковременные и долгосрочные (на год, на пять, на десять лет и более).

В научных прогнозах можно выделить три направления:

- научного предвидения, открытий в различных науках;
- естественного развития природных процессов;
- изучения разнообразных последствий, вызываемых вмешательством человека в природу.

В настоящее время многие виды прогноза включаются в так называемую систему мониторинга (от «*monitor*» (англ.) – слежение, контроль, наблюдение).

Служба мониторинга РФ, существующая в нашей стране с 1978 г. в системе Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, осуществляет контроль за состоянием окружающей природной среды, изменяющейся под влиянием деятельности человека.

Мониторинг подземного строительства – слежение за подземными объектами; в приложении к природно-технической геосистеме «породный массив – технология – подземное сооружение – окружающая среда» – слежение за ее состоянием и предупреждение о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей, других живых существ, их сообществ, природных и антропогенных объектов (в том числе сооружений).

Мониторингом также принято называть регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения состояния предварительно выделенного одного или нескольких подземных объектов.

Мониторинг, таким образом, складывается из наблюдения, в т.ч. инструментального, регистрации и архивации, систематизации и анализа результатов наблюдения, включая сопоставление с данными прогноза, разработку инженерных решений и их осуществление.

В мониторинге окружающей природной среды под влиянием подземного строительства такими объектами наблюдения являются абиотические, биотические среды и факторы техногенного воздействия на них со стороны подземного объекта. Программы наблюдения природных сред, природных объектов, растительного и животного мира должны выявлять изменения их состояния и происходящие в них процессы под влиянием строительной деятельности.

Испытывая на себе результаты разрушающего действия воды, ветра, землетрясений, снежных лавин и т. п., человек издавна реализовал элементы мониторинга, накапливая опыт предсказания погоды и стихийных бедст-

вий. Такого рода знания всегда были и сейчас остаются необходимыми для того, чтобы по возможности снизить ущерб, причиняемый человеческому обществу неблагоприятными природными явлениями и, что особенно важно, уменьшить риск человеческих потерь. Последствия большинства стихийных бедствий необходимо оценивать со всех сторон. Так, ураганы, разрушающие постройки и приводящие к человеческим жертвам, как правило, приносят обильные осадки, которые в засушливых районах дают значительный прирост урожаев. Поэтому организация мониторинга требует углубленного анализа с учетом не только экономической стороны вопроса, но и особенностей исторических традиций, уровня культуры каждого конкретного региона.

Переходя от созерцания явлений окружающей среды через механизмы приспособления к осознанному и усиливающемуся воздействию на них, человек постепенно усложнял методике наблюдения за природными процессами и вольно или невольно вовлекался в погоню за самим собой. Еще древние философы считали, что в мире все связано со всем, что неосторожное вмешательство в процесс даже, казалось бы, второстепенной важности может привести к необратимым изменениям в мире. Наблюдая за природой, мы долгое время оценивали ее с обывательских позиций, не задумываясь о целесообразности ценности наших наблюдений, о том, что мы имеем дело с самой сложной самоорганизующейся и самоструктурирующей системой, о том, что человек является всего лишь частицей этой системы.

Человек изменяет ландшафты, создает искусственные биосферы, ор-

ганизует техногенные биоконплексы, перестраивает динамику рек и океанов и вносит изменения в климатические процессы. Обратные отрицательные связи живой природы все активнее сопротивляются этому натиску человека, приближая его к кризисной черте.

Системы мониторинга являются тем механизмом, который поможет предотвратить стремительное движение человечества к глобальной экологической катастрофе.

Природные катастрофы всегда являлись спутником человеческой активности, как один из элементов эволюции биосферы. Ураганы, наводнения, землетрясения, цунами, лесные пожары и т. п. приносят ежегодно огромный материальный ущерб, поглощают человеческие жизни. Одновременно все более набирают силу антропогенные причины многих ката-

строф. Регулярные аварии танкеров с нефтью, катастрофа в Чернобыле, взрывы на заводах и складах с выбросами отравляющих веществ и другие не предсказуемые катастрофы – реальность нашего времени. Нарастание числа и мощности аварий демонстрирует беспомощность человека перед лицом приближающейся экологической катастрофы. Отодвинуть ее может только быстрое широкомасштабное внедрение систем мониторинга, которые в настоящее время успешно внедряются в Северной Америке, Западной Европе и Японии.

Управление природной средой весьма многогранно: оно включает изучение различных блоков мониторинга, имеющих прямые связи, как-то: наблюдения – оценка фактического состояния; наблюдения – прогноз; прогноз – оценка прогнозируемого состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликова Е.Ю. Инженерно-экологический мониторинг – основа прогнозирования безопасности подземных объектов. — ГИАБ № 9 (отдельный выпуск «Строительная геотехнология»), 2009. — С.186—205.

2. Куликова Е.Ю. Геоэкологический мониторинг при освоении подземного пространства городов. — Журн. «Экология промышленного производства». – М.: Изд-во

ВНИИМИ – Федеральный информационно-аналитический центр оборонной промышленности. – №1, 2010. — С. 16—20.

3. Ананьев Г.С. Методология изучения катастрофических процессов рельефообразования и вопросы эколого-геоморфологического риска // Обзор картографирования природных опасностей и стихийных бедствий. – М., 1992. – С. 54–59. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Куликова Елена Юрьевна — доктор технических наук, профессор, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

