

**А.В. ГРЕЧЕНЕВА,
Н.В. ДОРОФЕЕВ**
**Метод получения прогнозных
оценок деформационных
процессов геологической
структуры с учетом
многофакторного воздействия**

УДК 004.04

ФГАОУ ВПО
«Белгородский
государственный
национальный
исследовательский
университет»,
г. Белгород

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВПО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В работе рассматривается метод получения прогнозных оценок динамики деформационных процессов приповерхностных и глубинных слоёв геологической структуры с учетом многофакторного воздействия (гидрологический режим, климатические условия и т.д.). Выявлена взаимосвязь факторов изменения геологической среды, на основе которой была разработана структурная схема информационной обработки распределенных параметров прогнозной функции. Структурная схема также учитывает воздействие на результаты прогноза температурной и гидрологической помехи, а так же данные о категории карстоопасности, нагрузки на грунт и оперативные данные от электроразведочных комплексов.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации № МК-7406.2015.8

Процесс получения достоверной прогнозной оценки деформационных процессов геологических приповерхностных и глубинных слоёв возможен только с учетом особенностей физико-механических свойств породного массива, который характеризуется

анизотропией деформационных и прочностных свойств, нелинейностью упругих свойств и т.д. Очевидно, что для составления корректного прогноза деформаций грунтового массива при помощи математического моделирования используется большое количество исходных показателей, что накладывает некоторые ограничения на ее практическое применение и такая модель не является интуитивно понятной. Исходя из этого, для повышения уровня адаптации модели под решение конкретной практической задачи, целесообразным является выявление основных экзогенных факторов (климатический и гидрогеологический режим), присущих конкретной местности, влияющих на поведение грунтового массива.

Следует отметить о наличии причинной взаимосвязи между процессами карстообразования и деформационными процессами грунта. Математическое моделирование нагрузочно-деформационного процесса заключается в решении начально-краевой задачи о реакции системы «грунт-карстовая полость» при воздействии на поверхность грунта внешних факторов (техногенная нагрузка, климатический режим и т.п.). При этом следует учитывать неоднородность грунтового слоя, определяющую различность его физико-механических свойств и динамику карстового образования, которая изменяет напряжённо-деформированное состояние геологического разреза.

Качественное математическое моделирование деформационных процессов и процессов карстообразования позволяет получить прогнозную функцию. Так как процессы карстообразования носят недетерминированный характер, который заключается в скрытой динамике жёстких оснований грунтовых пород, для их прогнозирования целесообразно применять вероятностно-статистическое моделирование. При этом основным параметром оценки вероятности карстовой опасности является интенсивность образования карстовых провалов, которая представляет собой математическое ожидание частоты появления провалов, отнесённое на единицу рассматриваемой площади и единицу времени [1]:

$$I = \frac{N}{S \cdot Y}, \quad (1)$$

где N – количество провалов; S – площадь локализации учитываемых провалов; Y – количество лет, в течение которых фиксировались провалы.

Неотъемлемой частью прогноза образования карстовых провалов является оценка карстоопасности местности, которая подразумевает возможность соотнесения конкретной местности с выявленными ранее категориями карстоопасности. Эти параметры играют значительную роль в получении прогнозной оценки динамики геологической среды. Исходя из существующих категорий карстоопасности, несколько десятков лет назад были составлены подробные карты карстовой опасности местности, однако они уже не актуальны для использования с высокой точностью и достоверностью в силу нетехнологичности методов, использованных при их составлении, и отсутствия учета временной геодинамики.

Автоматизированное получение прогнозных оценок динамики геологической структуры в режиме реального времени требует регистрации и учета таких параметров, как влажность и температура грунта. [2] При этом по показателям водонасыщенности грунта можно судить об уровне пористости грунтового массива, который характеризует высокую предрасположенность развития карстовых образований и провалов. Коэффициент пористости вычисляется по формуле:

$$e = \frac{(1+w)\gamma_s}{\gamma} - 1, \quad (2)$$

где γ - удельный вес грунта;

γ_s - удельный вес частиц грунта;

w - весовая влажность,

Для определения коэффициента (индекса) водонасыщенности S_r вычисляется отношение природной влажности гранта w , к влажности, при полном заполнении пустот и пор водой w_{sat} :

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} = \frac{w\gamma_s}{e\gamma_w}, \quad (3)$$

Значения данного коэффициента лежат в пределах от нуля (абсолютно сухой грунт) до единицы (полностью водонасыщенный грунт) [3].

В результате регрессионного анализа и с учетом выражений (2) и (3) можно сказать, что процесс равномерного понижения уровня грунтовых вод ΔH в однослойной модели водонасыщенного геологического слоя толщиной h , залегающего на глубине $h_1 < h_2$, влияет на оседание S приповерхностного слоя грунта. Тогда оседание S поверхности можно вычислить по формуле:

$$S = \frac{\Delta H \cdot \gamma_w}{E} \cdot \beta(\nu) \cdot \left(\frac{h_1^2}{2} + h_1 \cdot h_2 \right), \quad (4)$$

где γ_w - удельный вес воды в грунте;

E - модуль деформации грунта, МПа;

$\beta(\nu) = 0,8$ зависит от коэффициента Пуассона(ν) (коэффициента бокового расширения);

h_2 - глубина геологического слоя, $h_2 = h - h_1$.

Поэтому для детализации и повышения степени адаптации математической модели приповерхностных процессов и качественной оценки карстообразования используется зависимость электрических и физических свойств грунтов от влажности и факторов, образующих ее, а также учитывается температурный градиент и многие другие параметры [4].

Исходя из обратной зависимости параметров температуры грунта от его влажности, значение температуры на глубине z через время t можно получить как:

$$X_7^j(z) = X_9^{\max}(x, y) \exp\left(\frac{X_1^i(d) - z}{\alpha}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \frac{\sqrt{\pi T}(X_1^i(d) - z)}{\sqrt{\alpha}} + X_9^{\phi}(x, y)\right), \quad (5)$$

где $X_9^{\max}(x, y)$ - значение амплитуды колебаний суточной (сезонной, многолетней) температуры в точке с координатами x, y ;

T - период колебания температуры (суточный, сезонный, многолетний);

α - приведенный коэффициент температуропроводности [5];

$X_9^{\varphi}(x, y)$ - фазовый момент для суточных (сезонных, многолетних) колебаний, соответствующий температуре в настоящий момент времени;

$X_1^i(d)$ - глубина сезонного оттаивания.

Получаемые по структурной схеме, изображенной на рисунке 1, прогнозные оценки, можно привязать к необходимому порогу срабатывания:

$$f(k) = \sum_i \left(\theta \left(\frac{|f(k-1) - f(i)|}{\Delta_A} - 1 \right) \cdot f(i) \right), \quad (6)$$

где $f(k)$ – текущая оценка;

θ - функция Хэвисайда;

$f(k-1)$ – предыдущая оценка;

$f(i)$ – i -я оценка в диапазоне Δ на k -м шаге;

Δ_A – порог срабатывания.

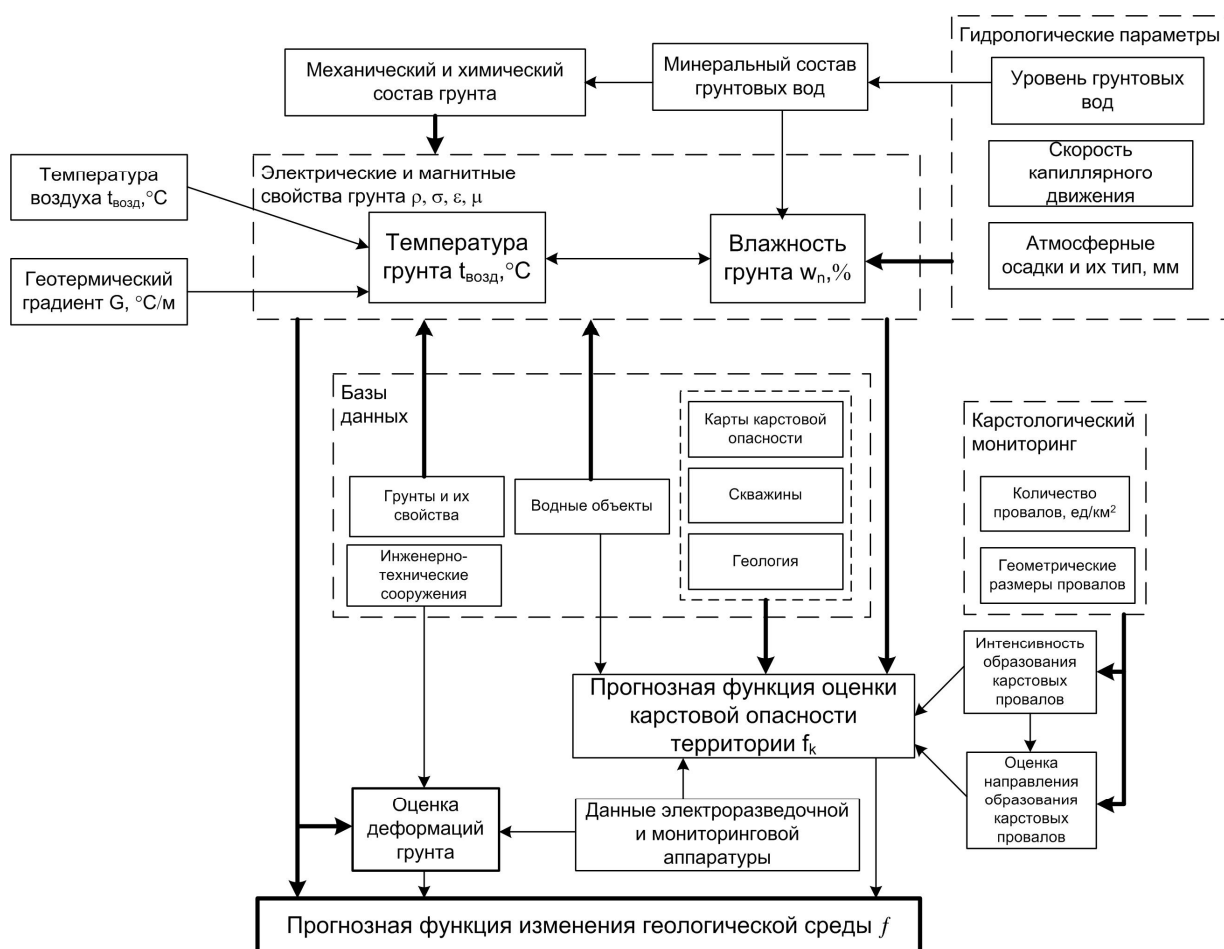


Рис. 1. Структурная схема информационной обработки распределенных параметров прогнозной функции

Для повышения достоверности прогнозных оценок при построении математических моделей необходимо учитывать изменения параметров геологического разреза и влияющих на него факторов не только в локальной точке, но и на большой площади. При мониторинге деформационных процессов в системе «карст – грунт – фундамент здания» соответственно учитывается геометрия здания; физико-механические свойства материалов и строительных элементов конструкции здания.

Литература

1. Reuter F., Tolmacev V. Bauen und Bergbau in Senkungs – und Senkungsgebieten // Eine Ingenieurgeologie des Karstes: 176 S., Berlin, 1990;
2. Дорофеев Н.В., Орехов А.А., Романов Р.В. Автоматизированный глобальный геоэкологический мониторинг на базе ГИАС / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 26-29;
3. Мельник В.В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании -Екатеринбург, 2010.- 189 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/442
4. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Алгоритм коррекции влияния гидрологической помехи на контроль геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №4(22). С. 74 – 78;
5. Кузичкин О.Р. Алгоритм формирования прогнозных геодинамических оценок при геоэлектрическом мониторинге суффозионных процессов / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №5. С. 50-53;
6. Соколова И.А. Методика структурирования данных для информационного моделирования геологической среды / Геопрофи, 2007, № 6, С. 14-18.