

УДК 621.396

Методика оценки динамики геомеханических процессов с учетом гидрологического режима *

Греченева А.В., Дорофеев Н.В.

В статье описана методика оценки динамики геомеханических процессов, возникающих в локальной точке геологической среды под воздействием внешних факторов. Выявлена взаимосвязь гидрологического режима местности с динамикой и фазами активности процесса карстообразования и обрушения грунта. На основании применения численных методов математического моделирования были получены зависимости предельного сопротивления грунта сдвигу при нормальном давлении. Определено, что общее напряжённое состояние исследуемого грунтового слоя определяется соотношением вертикальных и горизонтальных составляющих напряжения. Выполнен причинный анализ формирования карстовых образований на основе региональных статистических данных. Комплексный анализ позволил выявить корреляционные зависимости динамики карстовых процессов не только от параметров геологического разреза, но и от параметров климатических условий (температура и влажность).

Ключевые слова: геоэкологический мониторинг, геодинамический объект, локализация объектов, карстовый процесс, обрушение грунтов, гидрологическое воздействие.

The method of assessment the dynamics of geomechanical process taking into account the hydrological regime

Grecheneva A.V., Dorofeev N.V.

The article describes a method of estimating the dynamics of geomechanical processes that occur at the local geological environment. The interrelation of the hydrological regime of the area with the dynamics and phases of activity and the collapse of karst soil. On the basis of the use of numerical methods for mathematical modeling were obtained according to limit soil shear resistance at normal pressure. It was determined that the total stress state of the investigated soil layer is defined by vertical and horizontal components of the voltage. Made a causal analysis of the formation of karst formations on the basis of regional statistics. Comprehensive analysis revealed correlations dynamics of karst processes, not only on the parameters of the geological section, but also the parameters of the climatic conditions.

Keywords: geo-ecological monitoring, geodynamic object, object localization, the process of karst, caving soil, hydrological impact.

Введение

Несовершенство инженерно-технических средств контроля и мониторинга геологической среды ведёт к наличию множества случаев повсеместного разрушения промышленно-хозяйственных и административных объектов и коммуникаций, вызванных проявлением приповерхностных геодинамических процессов. Низкая способность таких систем к выявлению фазы начала развития неблагоприятных геодинамических процессов обуслов-

лена недостаточной проработанностью математических моделей геологической среды, в которых не учтены в полной мере факторы, влияющие на изменения геологического слоя (гидрологический режим, климатические условия, уровень техногенной нагрузки).

Таким образом, актуальной является задача разработки методов и систем автоматизированного геодинамического мониторинга и оценки напряжённо-деформированных состояний сил в системе «грунт—фундамент—соо-

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-7406.2015.8

ружение» с применением многофакторного анализа.

Целью работы является разработка методов математического моделирования геодинамических процессов и процессов обрушения с учетом многофакторного воздействия (гидрологический режим, климатические условия, уровень техногенной нагрузки), направленная на повышение качества оценки динамики геологической среды.

Влияние гидрологического режима на формирование карстовых образований

Изменения геологической структуры для многих стран мира обусловлено процессами карстообразования. В свою очередь, развитие процессов карстообразования определяется различными физико-химическими процессами, при этом растворимость хлоридных, сульфатных и карбонатных пород находится в примерном соотношении 10000:100:1 [1]. Процесс карстообразования зависит от взаимодействия как минимум четырех основных составляющих: растворимых пород (карбонатные, сульфатные, соляные); - растворителя (вода); подхода растворителя к карстующимся поро-

дам; наличие отвода растворенной субстанции.

Процесс растворения пород, процесс формирования деформаций обрушения зависит не только от геологической структуры разреза (глубины расположения карстового образования, размеров полости), геомеханических характеристик, климатических параметров, но и от гидрологической ситуации в покровной толще.

Моделирование геомеханических процессов

Процесс образования полости в приповерхностном геодинамическом слое характеризуется изменением первичного напряжённого состояния в грунтовых породах, которое определяется свойствами пород и структурой геологического слоя местности. Процесс динамики карстовой полости является причиной образования напряжений в прилегающих породах, при этом происходит концентрация продольных и тангенциальных напряжений на локальном участке существующей полости, что и вызывает развитие её деструктивных процессов (рисунок 1).

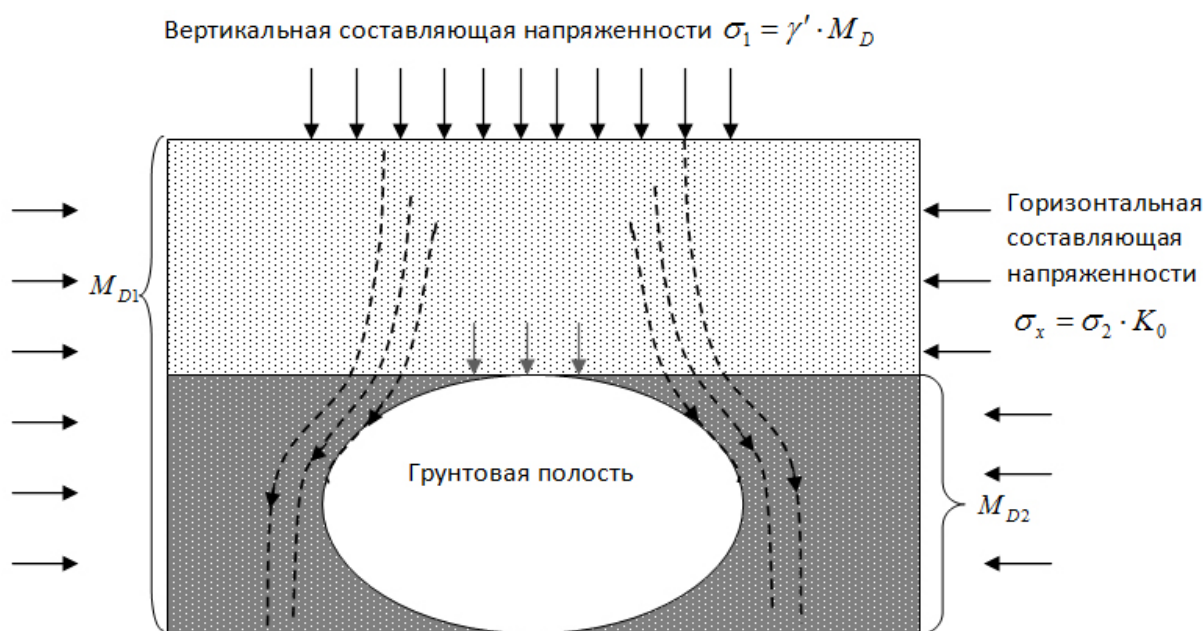


Рис. 1. Распределение горизонтальных и вертикальных напряженностей.

Общее напряжённое состояние исследуемого грунтового слоя определяется соотношением вертикальных и горизонтальных составляющих напряжения. При этом значение вертикальной составляющей напряжения σ_1 определяется толщиной вышележащих пород:

$$\sigma_1 = \gamma' \cdot M_D \text{ (кН/м}^2\text{)} \quad (1)$$

Для нахождения горизонтальных составляющих (σ_2, σ_3) необходимо учитывать упругоизотропные свойства растягивающих напряжений вышележащих слоев грунта и коэффициент бокового давления K_0 [1]:

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_1 \cdot K_0 \text{ (кН/м}^2\text{)}, \quad (2)$$

где $K_0 = 1 - \sin \varphi'$.

Физический смысл процесса обрушения заключается в превышении граничных значений вертикальных и горизонтальных напряжений, которые можно принять за краевые задачи при численном моделировании данного процесса [2].

Нормальные и касательные напряжения, возникающие в толще грунта во время деформационно-сдвигового процесса можно определить как:

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (3)$$

$$\tau_u = \frac{G_{\max}}{A}, \quad (4)$$

где N – уровень давления (нагрузки);

G_{\max} – максимальное сдвигающее усилие;

τ_u – максимальное касательное напряжение в грунте в момент среза.

Как показывает график (рисунок 2) зависимость $\tau_u(\sigma)$ является линейной, и в целом характеризует прочностные свойства грунта [3-6].

Особенностью процесса карстообразования и последующего обрушения является его дискретность во времени, объясняемая различными физико-механическими свойствами слоёв геологического разреза. Данная характе-

ристика определяет также и недетерминированность карстового обрушения, заключающуюся в скрытой динамике жёстких оснований грунтовых пород.

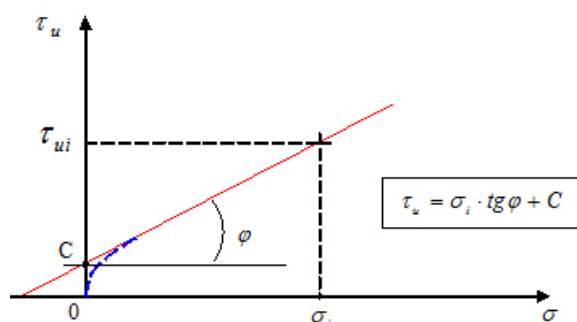


Рис. 2. Зависимость максимального сопротивления грунта сдвигу от нормального давления.

Заключение

Уровень и динамика геомеханических процессов, возникающих в карстоопасном массиве, определяется структурно тектоническим строением геологического разреза, физико-механическими свойствами слоёв грунта, видом растворяемых пород (хлоридных, сульфатных и карбонатных) размером, формой и глубиной залегания карстовой полости. Взаимосвязь гидрогеологических, структурно-тектонических и геодинамических характеристик карстоопасной местности имеет большое значение при прогнозировании образования и динамики карстовых процессов.

Литература

1. Aderhold G. Klassifikation von erdfallen und senkungsmulden in karstgefährdeten gebieten hessens. Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumassnahmen // HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Geologische Abhandlungen Hessen, Band 115, Wiesbaden 2015.
2. Fiksel T., Stoyan D. Mathematisch-statistische Bestimmung von Gefährdungsgebieten bei Erdfallprozessen // Z.f. angew. Geologie, 1983, 9: 455 – 459.
3. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Алгоритм коррекции влияния гидрологической помехи на контроль геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №22. С. 74-78.

4. Мельник В.В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании. - Екатеринбург, 2010. - 189 с.

5. Вознесенский Е.А. Динамическая неустойчивость грунтов. - М.: Эдиториал УРСС, 1999. - 261 с.

References

1. Aderhold G. Klassifikation von erdfallen und senkungsmulden in karstgefährdeten gebieten hessens. Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumassnahmen // HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Geologische Abhandlungen Hessen, Band 115, Wiesbaden 2015.

2. Fiksel T., Stoyan D. Mathematisch-statistische Bestimmung von Gefährdungsgebieten bei Erdfallprozessen // Z.f. angew. Geologie, 1983, 9: 455 – 459.

3. Orekhov A.A., Dorofeev N.V. Algoritm korrekcii vlijanija gidrologicheskoj pomehi na kontrol' geodinamicheskikh ob#ektov [Correction algorithm impact of noise on the hydrological monitoring of geodynamic objects] // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh [Algorithms, methods, and data processing systems]. 2012. №22. - P 74-78;

4. Melnik V.V. Obosnovanie geomechanicheskikh faktorov dlja diagnostiki opasnosti karstoprojavlenij pri nedropol'zovanii [Substantiation of geomechanical factors for the diagnosis of the dangers of karst manifestations in the subsoil] - Ekaterinburg, 2010.- 189 p.

5. Voznesensky E.A. Dinamicheskaja neustojchivost' gruntov [Dynamic instability of soils]. – Moscow, Editorial URSS, 1999. - 261 p.

Статья поступила в редакцию 20 июля 2015 г.

Греченева Анастасия Владимировна – аспирант факультета «Информационных технологий и прикладной математики» ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Муром, Россия. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Дорофеев Николай Викторович – кандидат технических наук, зав. кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

Grecheneva Anastasiya Vladimirovna – Graduate student, Belgorod National Research University, Murom, Russia. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Dorofeev Nikolay Viktorovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru