

## Список литературы

1. Градостроительный кодекс РФ (статьи 41.2 и 57.1)
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.01.2006 № 20 «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.03.2017 № 402 «Об утверждении Правил выполнения инженерных изысканий, необходимых для подготовки документации по планировке территории, перечня видов инженерных изысканий, необходимых для подготовки документации по планировке территории».
4. [https://minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-initsiroval-sozdanie-oblchnogo-resheniya-isogd-dlya-regionov/?sphrase\\_id=1110241](https://minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-initsiroval-sozdanie-oblchnogo-resheniya-isogd-dlya-regionov/?sphrase_id=1110241)
5. <https://www.geo-base.ru/>

### DEVELOPMENT OF DATABASES OF GEOLOGICAL INFORMATION ON THE EXAMPLE OF THE PORTAL "GEOBASE".

A.V. Novoseltsev, V.O. Truhan, N.M. Hansivarova, A.Y. Prokopov

*Don state technical university, Rostov-on-don, Russia, e-mail: ug88@bk.ru; Southern federal university, Rostov-on-don, Russia*

**Annotation.** The «Geobase» project collects and processes data on previously performed engineering and geological surveys. The relevance of the project is due to the lack of a single centralized archive for engineering-geological and environmental surveys in the Russian Federation on an electronic platform that could provide online data from both objective research and theoretical modeling data based on the analysis of existing ones. The novelty of the proposed approach is that the consumer can get all the necessary geological information on the site of interest without conducting surveys, and in the future, a forecast based on BigData analysis. The project will develop an interface for creating 3D models of geological maps of the city territory and an analytical module. The approach implemented within the project is based on continuous updating of the database of geological surveys, analysis and generation of reports by time/place. During the experimental evaluation for construction

**Keywords:** Geology, 3D modeling, design, construction, geodesy, surveys, Engineering surveys, Big Data, environment, service model, monitoring, database, information, data value.

УДК 004.94; 624.131

## СХЕМАТИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНИКЕ

И.К.Фоменко<sup>1</sup>, К.В.Кургузов<sup>2</sup>, О.Н.Сироткина<sup>3</sup>, Д.Н.Горобцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский государственный геологоразведочный университет им.*

*С.Орджаникидзе (МГРИ), ifolga@gmail.com*

<sup>2</sup>*ОАО "Гипрогор", kurgusov@yandex.ru*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова (МГУ), onsirotkina@gmail.com*

**Аннотация.** В основе инженерно-геологической схематизации лежит понятие инженерно-геологического элемента (ИГЭ). Однако, понимая случайную природу распределения свойств внутри ИГЭ, большинство инженерно-геологических моделей являются детерминированными. Не учет случайной компоненты в структуре численных оценок геологического параметра может приводить к ошибочным результатам и существенно снижает достоверность инженерно-геологических и геотехнических расчетов. На примере моделирования устойчивости склона рассмотрены альтернативные подходы к схематизации свойств. Их внедрение в практику расчетов требует расширения понятия ИГЭ.

**Ключевые слова:** инженерно-геологическая схематизация, инженерно-геологический элемент, модели распределения свойств, расчет устойчивости склонов.

Одним из главных этапов построения инженерно-геологической модели, является схематизация. Схематизация может быть обобщенной и специальной.

Под обобщенной схематизацией, в данном контексте, можно понимать процесс упрощения реального природного объекта, обладающего бесконечной степенью сложности, до концептуальной модели, ограниченной рамками научного познания.

Специальная схематизация предполагает упрощение концептуальной модели до специализированной схемы, способной в рамках поставленной задачи в определенной мере сохранить адекватность с исходной концептуальной моделью. Цель специальной схематизации может быть выражена в виде следующего тезиса: максимальное упрощение при минимальной потере адекватности. Этот тезис может служить так же основой для математической постановки задачи. Обоснование схематизации является одной из важнейших задач при описании процесса построения модели.

Специальную схематизацию можно разделить на несколько взаимосвязанных этапов: схематизацию поведения, схематизацию структуры, схематизацию свойств и схематизацию состояния объекта моделирования. [5].

**В основе инженерно-геологической схематизации лежит понятие инженерно-геологического элемента (ИГЭ).** Согласно СП 446.1325800.2019 [4] ИГЭ — основная грунтовая единица, используемая при создании инженерно-геологической модели грунтового массива, включающая некоторый объем грунта одного и того же типа (подтипа), вида (подвида) и разновидности при изменении значений характеристик грунта в пределах элемента случайно (незакономерно) или при наблюдающейся закономерности изменения характеристик грунтов с коэффициентом вариации для физических характеристик грунта  $\leq 0,15$ , для механических  $\leq 0,30$ .

Несмотря на тот факт, что случайная природа распределения свойств в ИГЭ присутствует в определении, до недавнего времени этому факту при построении инженерно-геологических моделей уделялось не

достаточно внимания, статистическая обработка свойств грунтов выполнялась до создания модели, а сама модель носила, как правило, детерминированный характер.

Однако, в последние годы ситуация изменилась. В первую очередь, это связано с развитием, преимущественно за рубежом, нового научного направления – стохастическая геотехника [9], одной из главных задач которого является учет неопределенности при математическом моделировании литотехнических систем. Второй важной задачей стохастической геотехники является анализ рисков при создании и эксплуатации ЛТС [8].

В настоящее время выделить четыре основных модели, описывающих распределение свойств грунтов при математическом моделировании в инженерной геологии и геотехнике.

Рассмотрим их на примере решения задачи по оценке устойчивости склонов методами предельного равновесия на основе критерия прочности Кулона-Мора.

1. **Детерминированная модель.** При решении поставленной задачи исходными параметрами являются определенные для каждого ИГЭ скалярные величины свойств грунтов: плотности, удельного сцепления, угла внутреннего трения.

Результатом решения является определение минимального значения коэффициента устойчивости (так же скалярной величины) и нахождение положения соответствующей ему поверхности скольжения.

2. **Интерполяционная модель.** В данном случае, исходными параметрами являются определенные для каждого ИГЭ числовые массивы, включающие свойства грунтов (плотность, удельное сцепление, угол внутреннего трения) и координаты места отбора пробы для определения свойств. На основе этой информации, с использованием интерполяционных методов для каждого ИГЭ строится поле распределения свойств.

Результатом решения, как и в случае детерминированной модели, является определение минимального значения коэффициента устойчивости и нахождение положения соответствующей ему поверхности скольжения. Однако, следует заметить, что результат зависит от выбора метода интерполяции свойств грунтов [1].

3. **Вероятностная модель.** В отличие от описанных выше моделей, исходными параметрами в данном случае являются не скалярные величины, а функции вероятностного распределения свойств грунтов [2].

Главной проблемой при построении вероятностной модели является определение закона распределения случайных величин. В случае

нормального распределения для построения вероятностной функции необходимы два параметра - математическое ожидание, дисперсия.

Результатом решения, в этом случае является вероятностная функция распределения  $K_u$ , на основе которой можно определить вероятность развития оползневой процесса.

**4. Модель изменчивости.** Пространственная изменчивость свойств грунта может быть смоделирована с помощью теории случайных полей [11], согласно которой, в любой области ИГЭ, свойства грунта являются случайной переменной, характеризующейся вероятностной функцией распределения и коррелирующей со значениями свойств грунта в смежных областях [7]. Пространственная корреляция свойств грунта определяется на основе функции автокорреляции, которая может быть оценена от результатов измерений параметра в различных точках по результатам полевых или лабораторных испытаний [6].

Корреляционная структура случайной Гауссовой области может быть определена с помощью функции коэффициента корреляции Маркова:

$$R(\tau_x, \tau_y) = \exp \left\{ - \sqrt{ \left( \frac{2\tau_x}{\theta_x} \right)^2 + \left( \frac{2\tau_y}{\theta_y} \right)^2 } \right\},$$

где  $R(\tau_x, \tau_y)$  – коэффициент автокорреляции,  $\tau_x$  и  $\tau_y$  - абсолютные расстояния между двумя точками в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно,  $\tau_x$  и  $\tau_y$  корреляционные расстояния горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно [10].

Таким образом, необходимыми исходными параметрами для модели изменчивости дополнительно к функции вероятностного распределения свойств грунтов является величины корреляционного расстояния.

Результатом решения, в этом случае является вероятные модели распределения свойств грунтов для заданного корреляционного расстояния и функция распределения  $K_u$ .

Для исследования влияния пространственной изменчивости прочностных параметров грунта на вероятность развития оползневой процесса используются случайный метод предельных равновесий (RLEM) и случайный метод конечных элементов (RFEM).

Анализ результатов расчета показал, что величина корреляционного расстояния не влияет на  $K_u$  склона. Однако, вероятность развития оползневой процесса при изменении величины корреляционного расстояния меняется. При этом, с уменьшением корреляционного

расстояния и, как следствие, с возрастанием неоднородности в грунтах, вероятность развития оползневого возрастает.

**Заключение.** Неучет случайной компоненты в структуре численных оценок геологического параметра (использования чисто детерминированных моделей) может приводить к ошибочным и снижает достоверность инженерно-геологических и геотехнических расчетов [3]. В условиях неопределенности ЛТС Ку не является надежным параметром, характеризующим устойчивость склонов. С увеличением неоднородности грунтов, слагающих склон Ку, не меняется, однако, вероятность развития оползневого процесса возрастает. Внедрение в практику инженерно-геологических и геотехнических расчетов концепции стохастического моделирования существенно повысит достоверность получаемых результатов. Однако, это требует расширения понятия ИГЭ.

#### Список литературы

1. Буфеев Ф. К., Фоменко И. К., Сироткина О. Н. Влияние методов интерполяции прочностных свойств грунтов на результаты расчета устойчивости склонов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016, С. 127–133. [https://doi: 10.18454/IRJ.2227-6017](https://doi.org/10.18454/IRJ.2227-6017)
2. Зеркаль О. В., Фоменко И. К. Влияние различных факторов на результаты вероятностного анализа активизации оползневых процессов // Инженерная геология, № 1, 2016, С. 16–21.
3. Кургузов К. В., Фоменко И. К., Сироткина О. Н. Вероятностно-статистические подходы при оценке неопределенности литотехнических систем // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, № 2, 2020, С. 80–89.
4. СП 446.1325800.2019 (Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ)
5. Фоменко И.К. Математическое моделирование напряженного состояния инженерно - геологического массива, сложенного анизотропными горными породами // автореферат дис... канд.геол.минер. наук: 04.00.07. Москва. 2001. С. 24.
6. Baecher G.B., Christian J.T. Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. NewJersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005, 618 p.
7. El-Ramly H., Morgenstern N.R., Cruden D. M. Probabilistic slope stability analysis for practice // Canadian Geotechnical Journal, № 1, June, 2002, P. 665-683.
8. Fenton G.A., Griffith D.V. Risk assessment in geotechnical engineering. NewJersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008
9. Griffiths D. V., Fenton G. A. Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering. NewYork: SpringerWien, 2007.
10. Javankhoshdel S., Cami B., Bathurst R., Corkum B. Probabilistic Analysis of Layered Slopes with Linearly Increasing Cohesive Strength and 2D Spatial Variability of Soil Strength Parameters Using Non-Circular RLEM Approach // Conference: IFCEE, At: Orlando, FL, USA, 2018, pp.1-10. <https://doi.org/10.1061/9780784481585.014>
11. Vanmarcke E. Random Fields: Analysis and Synthesis (MIT Press)/ Cambridge, MA, 1983.

## SCHEMATIZATION OF SOIL PROPERTIES DURING MATHEMATICAL MODELING IN ENGINEERING GEOLOGY AND GEOTECHNICS

I.K.Fomenko<sup>1</sup>, K.V.Kurguzov<sup>2</sup>, O.N.Sirotkina<sup>3</sup>, Gorobtsov D.N<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>*Sergo Ordzhonikidze Russian state university for geological prospecting (MGRI),  
ifolga@gmail.com*

<sup>2</sup>*JSC "Giprogor", kurgusov@yandex.ru*

<sup>3</sup>*Lomonosov Moscow State University (MSU), onsirotkina@gmail.com*

**Abstract.** Engineering-geological schematization is based on the concept of engineering-geological element (EGE). However, understanding the random nature of the distribution of properties within the IGE, most engineering-geological models are deterministic. Failure to take into account the random component in the structure of numerical estimates of a geological parameter can lead to erroneous results and significantly reduce the reliability of engineering-geological and geotechnical calculations. On the example of slope stability modeling, alternative approaches to the schematization of properties are considered. Their introduction into the practice of calculations requires expanding the concept of EGE.

**Key words:** engineering-geological schematization, engineering-geological element, models of property distribution, calculation of slope stability.

УДК 004.94; 624.131

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЛИНЕЙНОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ГРУНТА

Н.Б. Артамонова, С.В. Шешенин

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
artamonovanb@mail.ru*

**Аннотация.** Линейная теория совместного упругого деформирования грунта и фильтрации жидкости впервые была сформулирована М. Biot [5]. Но уплотнение водонасыщенных дисперсных грунтов под нагрузкой, как правило, нелинейное и сопровождается большими деформациями. В работе представлены связанная физически и геометрически нелинейная формулировка задачи консолидации и результаты численного моделирования упругопластического деформирования водонасыщенного грунта под нагрузкой при оттоке жидкости. Расчеты проводились в собственном программном коде.

**Ключевые слова:** связанная задача консолидации, нелинейное деформирование, метод Узавы, деформационная теория пластичности.

Дифференциальная постановка в «скоростях» задачи консолидации включает три уравнения: равновесия, фильтрации и изменения пористости, выведенные из законов сохранения механики сплошных сред с применением пространственного осреднения по объему представительной области (RVE – representative volume element). В текущей области она имеет вид [1]: