



# ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СФЕРЫ ВЛИЯНИЯ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО СООРУЖЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ

А.А. ГОРЛОВ\*, И.К. ФОМЕНКО, М.А. НАУМОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, Москва 117997, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В мировой практике проектирования и строительства значительную популярность приобретает применение стохастических подходов, которые на сегодняшний день активно используются при решении геотехнических задач. Эти методы позволяют учитывать неопределенность, связанную с изменчивостью физико-механических свойств грунтов, обусловленную их неоднородностью.

**Цель.** Рассмотреть возможность применения стохастического подхода вместе с учетом линейного изменения модуля общей деформации грунтов основания при глубине сжимаемой толщи, определяемой согласно Терцаги [13], для оценки сферы влияния реконструируемого сооружения на окружающую застройку.

**Материалы и методы.** Использование метода случайных конечных элементов (RFEM) вместе с учетом линейного изменения модуля общей деформации с глубиной позволяет учесть пространственную изменчивость свойств грунтов, а также выполнить прогноз возникновения деформаций. Для получения значений конечной осадки основания глубина сжимаемой толщи была определена согласно Терцаги [13]. Исследование проводилось на примере реконструируемого объекта в ЦАО г. Москвы, в ходе реконструкции была увеличена нагрузка на грунты основания.

**Результаты.** Сравнение традиционного метода расчета и расчета с использованием метода RFEM показало, что при обоих вариантах расчета жилое здание не попадает в зону влияния реконструкции. Однако отмечены значительные расхождения в полученных значениях общих деформаций (конечной осадки) основания в зависимости от метода расчета. Также показана оценка вероятности превышения заданного значения общих деформаций при стохастическом расчете.

**Заключение.** Результаты работы указывают на необходимость внедрения стохастического подхода в современную практику проектирования наряду с изменением метода определения глубины сжимаемой толщи и учета повышения модуля общей деформации с глубиной с целью повышения надежности и эффективности принимаемых проектных решений.

**Ключевые слова:** стохастический подход, инженерная геология, глубина сжимаемой толщи, конечная осадка, модуль общей деформации, неопределенность

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Горлов А.А., Фоменко И.К., Наумов М.А. Применение стохастического подхода для оценки сферы влияния реконструируемого сооружения на окружающую застройку. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2026;68(1):109—118. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2026-68-1-109-118> EDN: [DGKNKL](https://edn.dgknkl.ru/)

Статья поступила в редакцию 11.04.2025

Принята к публикации 12.06.2025

Опубликована 30.04.2026

\* Автор, ответственный за переписку

## STOCHASTIC APPROACH TO ASSESSING THE IMPACT AREA OF THE RECONSTRUCTED FACILITY ON THE SURROUNDING DEVELOPMENT

ANDREY A. GORLOV\*, IGOR K. FOMENKO, MIKHAIL A. NAUMOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** Acquiring popularity in global design and construction practice, stochastic approaches are actively used in geotechnical applications. These approaches take into account the uncertainty associated with the variability in the physical and mechanical properties of soils due to their heterogeneity.

**Aim.** To consider the application of a stochastic approach, taking into account the linear change in the total deformation modulus of base soils over the depth of compressible stratum, determined according to Terzaghi [13], for assessing the area of impact of the reconstructed facility on the surrounding development.

**Materials and methods.** The combination of random finite element method (RFEM) with the linear change in the total deformation modulus over the depth of compressible stratum takes into account spatial variability of soil properties, as well as predicts the occurrence of deformations. The depth of compressible stratum was determined according to Terzaghi in order to calculate the final settlement of the base [13]. The study was conducted using the example of a reconstructed facility in Moscow, Russian Federation. During the reconstruction, the load on base soils was increased.

**Results.** A comparison of the conventional calculation method and RFEM showed that the residential building is out of the impact area in both cases. However, significant differences were observed in the total deformation (final settlement) of the base, depending on the calculation method. In addition, the probability of exceeding the set value of total deformation was assessed using the stochastic approach.

**Conclusion.** The results of the work indicate the need to implement a stochastic approach in contemporary design practices along with enhancing the method for determining the depth of compressible stratum and taking into account the increase in the total deformation modulus over the depth for improving the reliability and efficiency of design decisions.

**Keywords:** stochastic approach, engineering geology, depth of compressible stratum, final settlement, total deformation modulus, uncertainty

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Gorlov A.A., Fomenko I.K., Naumov M.A. Stochastic approach to assessing the impact area of the reconstructed facility on the surrounding development. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2026;68(1):109—118. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2026-68-1-109-118> EDN: [DGNKNL](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2026-68-1-109-118)

*Manuscript received 11 April 2025*

*Accepted 12 June 2025*

*Published 30 April 2026*

\* Corresponding author

## Введение

В мировой практике проектирования и строительства значительную популярность приобретает применение стохастических подходов, которые на сегодняшний день активно используются при решении геотехнических задач. Эти методы позволяют учитывать неопределенность, связанную с изменчивостью физико-механических свойств грунтов, обусловленную их неоднородностью. Использование стохастических моделей не только повышает надежность и эффективность принимаемых проектных решений, но и открывает возможность прогнозирования. Использование таких подходов вместе с применением теории надежности дает возможность качественного роста уровня проектирования, что однозначно приводит к положительному экономическому эффекту [8–12, 14].

В современных условиях развития строительной отрасли России использование стохастических методов в инженерной геологии становится необходимостью. Эта потребность обусловлена рядом факторов: усложнением строительных проектов, ростом интенсивности и плотности застройки городских территорий, необходимостью снижения негативного влияния новых объектов строительства на уже существующую инфраструктуру. При этом необходимо понимать, что применение таких методов требует частичного пересмотра и в некоторых случаях дополнения действующих нормативно-технических документов, например в части, касающейся расчета глубины сжимаемой толщи. В свою очередь, это приведет к значительному улучшению качества получаемой инженерно-геологической информации, что позволит распространить полученный положительный эффект на все сопряженные отрасли [2–4].

Данная работа посвящена рассмотрению применения стохастического подхода с элементами вероятностного анализа в инженерной геологии на примере расчета сферы влияния сооружения на окружающую застройку.

## Материалы и методы

Стохастический расчет был выполнен с использованием метода случайных конечных элементов (RFEM) [9], в нем используется комбинация метода конечных элементов и двумерной теории случайных полей. Данный алгоритм расчета позволяет реализовать стохастический подход при решении геотехнических задач. Необходимо отметить, что применение этого метода также возможно при выполнении вероятностного анализа,

что значительно расширяет сферу использования, делая его в некотором смысле универсальным. Пространственная изменчивость свойств грунта при использовании данного подхода моделируется с помощью теории случайных полей, согласно которой в любой области расчетного-геологического элемента (РГЭ) свойства грунта являются случайной переменной, характеризующейся вероятностной функцией распределения и коррелирующей со значениями свойств грунта в смежных областях. Она определяется с помощью функции автокорреляции (1), которую можно оценить на основе данных полевых или лабораторных испытаний параметра в различных точках массива. Вычисление осуществляется с помощью функции коэффициента корреляции Маркова [10]. Такая постановка задачи обуславливает стохастический характер данного метода.

$$R(\tau_x, \tau_y) = \exp \left\{ - \sqrt{ \sqrt{ \left( \frac{2\tau_x}{\theta_x} \right)^2 + \left( \frac{2\tau_y}{\theta_y} \right)^2 } } \right\}, \quad (1)$$

где  $R(\tau_x, \tau_y)$  — коэффициент автокорреляции,  $\tau_x$  и  $\tau_y$  — абсолютные расстояния между двумя точками в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно,  $\theta_x$  и  $\theta_y$  — корреляционные расстояния в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно.

В данном исследовании стохастический расчет был выполнен в программе OptumG2. Для модуля общей деформации была задана величина корреляционного расстояния в горизонтальном ( $x = 10$  м) и в вертикальном ( $y = 0$  м) направлениях. Коэффициент вариации принимался (по модулю общей деформации) — 30%. Количество итераций — 300.

Также в данной работе выполнен учет линейного изменения модуля общей деформации с глубиной на основе формулы (2) для определения модуля деформации в модели упрочняющегося грунта:

$$E = E^{ref} \left( \frac{\sigma_1 + c \cot \varphi_p}{\sigma^{ref} + c \cot \varphi_p} \right)^m, \quad (2)$$

где  $E^{ref}$  — модуль деформации при референсном давлении 100 кПа,  $\sigma^{ref}$  — референсное давление,  $\sigma_1$  — бытовое давление,  $c$  — сцепление,  $\varphi$  — угол внутреннего трения,  $m$  — показатель степени, предложенный Охде (1939) [11].

Таблица 1. Параметры, описывающие физико-механические свойства грунтов  
Table 1. Parameters describing the physical and mechanical properties of soils

СГК	№ РГЭ	Глубина залегания кровли, м	Описание грунта	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$C$ , кПа	$\phi$ , °	$\nu$ , д.ед.	$E^{ref}$ , МПа
Современные техногенные образования ( <i>tQIV</i> )	1	0	Техногенный грунт — песок средней крупности ( <i>tQIV</i> )	1,75	1	32	0,30	26,3
Верхнечетвертичные аллювиальные отложения ( <i>aQIII</i> )	2	3	Суглинок мягкопластичный ( <i>aQIII</i> )	1,97	26	18	0,35	16,4
	3	5,8	Суглинок тугопластичный ( <i>aQIII</i> )	2,05	32	22	0,35	21,8
Среднечетвертичные флювиогляциальные, водно-ледниковые отложения московского оледенения ( <i>f, lgQIIms</i> );	4	13,8	Песок средней крупности ( <i>f, lgQIIms</i> )	1,87	1	35	0,30	30,0
	5	24,1	Суглинок мягкопластичный ( <i>f, lgQIIms</i> )	1,95	22	18	0,35	17,9
	6	26,0	Песок средней крупности ( <i>f, lgQIIms</i> )	2,01	2	36	0,30	30,3 <sup>п</sup>
Каменноугольные отложения верхнего отдела ( <i>C<sub>3</sub></i> ).	7	34,4	Известняк ( <i>C<sub>3</sub></i> )	-	-	-	-	-

Примечание. <sup>1</sup> — значения модуля общей деформации грунта на кровле (\*) и подошве (п) слоя.

Расчет сферы влияния сооружения на окружающую застройку выполнялся на примере реконструируемого объекта, расположенного в ЦАО г. Москвы. В ходе реконструкции сооружения была увеличена нагрузка, оказываемая на грунты основания. Фундамент сооружения плитный, с глубиной заложения 2 м, размеры в плане 26×22 м, нагрузка на грунты основания до реконструкции — 150 кН/м<sup>2</sup>, после реконструкции — 220 кН/м<sup>2</sup>. В непосредственной близости к реконструируемому объекту (2,5 м) расположено жилое здание, имеющее ленточные фундаменты с глубиной заложения 2 м, размеры в плане 22×18 м, нагрузка на грунты основания 200 кН/м<sup>2</sup>.

В геологическом строении площадки до глубины 39,4 м выделяются 4 стратиграфо-генетических комплекса (СГК) пород:

Современные техногенные образования (*tQIV*) представлены песком средней крупности, темно-серым, средней плотности, малой степени водонасыщения, с включением до 25 % мусора строительного, глинистым. Возраст отсыпки более 10 лет. Мощность образований от 1,45 до 3,00 м.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения (*aQIII*) представлены суглинком от мягкопластичного до тугопластичного, красно-коричневым, с прослоями песка, с включением до 10 % щебня и дресвы. Максимальная вскрытая мощность отложений 10,80 м.

Среднечетвертичные флювио-гляциальные, водно-ледниковые отложения московского оледенения (*f, lgQIIms*) представлены песками средней крупности, от желтого до серого, средней плотности, от средней степени водонасыщения до водонасыщенного, с включением до 10 % гальки, гравия, щебня и обломков известняка, глинистыми; суглинком буровато-коричневым, мягкопластичным, с включением до 10 % гравия и щебня, обводненным по контактам с включениями. Максимальная вскрытая мощность отложений 20,60 м.

Каменноугольные отложения верхнего отдела (*C<sub>3</sub>*) представлены известняком желтовато-серым, водонасыщенным, с прослоями мергеля. Максимальная вскрытая мощность отложений 5,00 м.

Гидрогеологические условия площадки до глубины 39,4 м характеризуются наличием одного водоносного горизонта, приуроченного к каменноугольным отложениям верхнего отдела (*C<sub>3</sub>*). Горизонт вскрыт на глубине 20,0 м и носит безнапорный характер.

Параметры физико-механических свойств грунтов (табл. 1), используемые в расчетах, получены в результате проведения инженерно-геологических изысканий.

Расчет сферы влияния выполнялся в двух вариантах. В первом случае (далее — «традиционный расчет») использован метод конечных

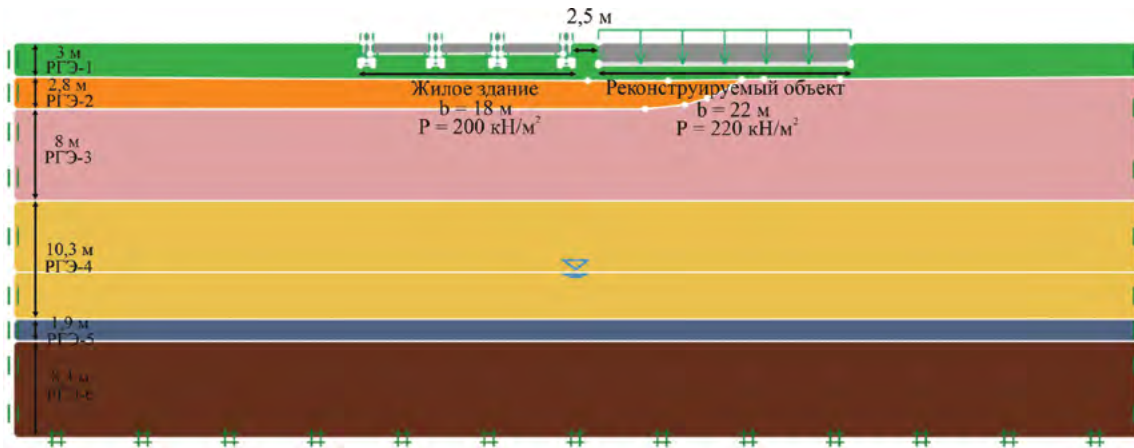


Рис. 1. Расчетная схема при стохастическом расчете  
 Fig. 1. Calculation scheme for stochastic calculation

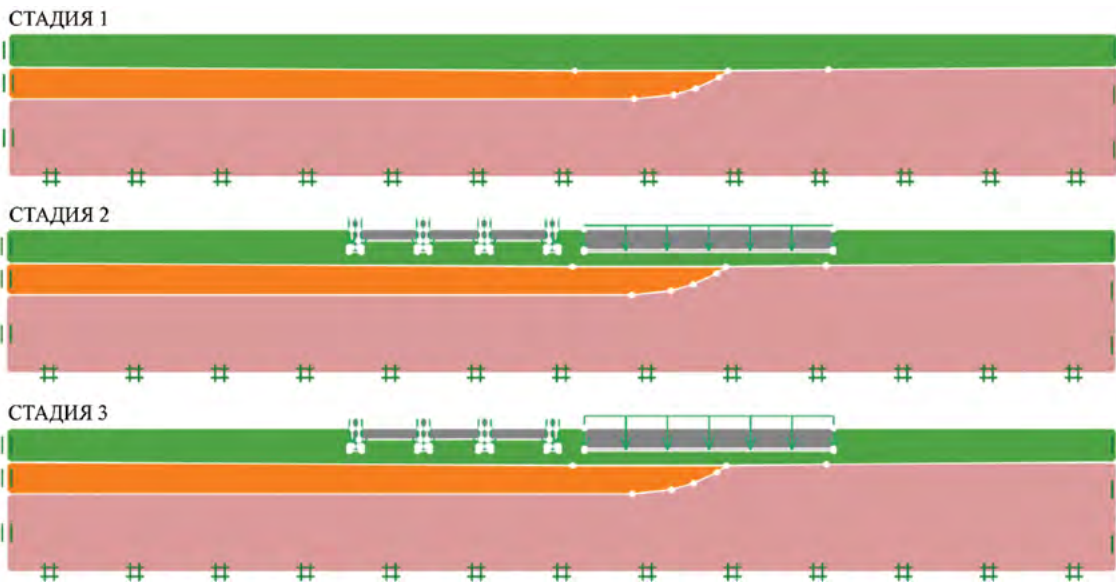


Рис. 2. Стадийность выполняемых расчетов  
 Fig. 2. The stages of the calculations performed

элементов, глубина сжимаемой толщи была определена в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016 и составила 12,7 м. Во втором варианте расчета глубина сжимаемой толщи определена согласно Терцаги [13] по формуле (3) и составила 47 метров.

$$Z_l = 2B(1 + \log L / B), \quad (3)$$

где  $B$  — ширина фундамента,  $L$  — длина фундамента.

Исходя из геологического строения участка работ глубина сжимаемой толщи принята на глубине вскрытия кровли известняков (СЗ) — 34,4 м.

Второй расчет является иллюстрацией применения стохастического подхода при оценке сферы влияния сооружения на окружающую застройку, расчетная схема представлена на рисунке 1. Расчет выполнялся с использованием метода RFEM, а также с учетом линейного изменения модуля общей деформации грунта с увеличением глубины.

Оба расчета выполнялись в три стадии (рис. 2). На первой стадии моделировалось начальное напряженно-деформированное состояние грунтового массива, на второй стадии — существующие сооружения. На третьей стадии выполнялось моделирование изменения поля деформаций грунтового массива в ходе реконструкции объекта.

**Таблица 2.** Результаты оценки влияния реконструкции с применением разных методик  
**Table 2.** The results of assessing the impact of reconstruction using different methods

Метод расчета	Расстояние до сооружения, м	Категория сооружения	Допустимая осадка, мм	Общие деформации, мм	Допустимая относительная разность осадок	Расчетная относительная разность общих деформаций	Радиус зоны влияния, м
<b>Жилое здание</b>							
Детерминированный (глубина сжимаемой толщи опр. по СП)	2,5	III	5	4,6	0,0004	0,00009	-
Вероятностный (RFEM) — вероятность 50% (с увеличенной глубиной сжимаемой толщи)				8,6		0,0003	-
<b>Реконструируемое здание</b>							
Детерминированный (глубина сжимаемой толщи опр. по СП)	-	III	30	22,6	0,0012	0,00016	26
Вероятностный (RFEM) — вероятность 50% (с увеличенной глубиной сжимаемой толщи)				38,2		0,0003	31

Одним из ключевых аспектов в контексте решения рассматриваемой задачи является понятие осадки. Согласно определению, приведенному в СП 22.13330.2016, осадка характеризуется только вертикальной оставляющей деформаций основания. Такой подход является вполне приемлемым при оценке деформаций в границах загруженной поверхности фундамента, поскольку в этом случае горизонтальные деформации основания, как правило, незначительны. В то же время при оценке осадки основания, расположенного на удалении от области нагружения, учет только вертикальной составляющей приводит к недооценке реальной величины осадки. Это связано с тем, что в подобных условиях горизонтальные деформации основания могут существенно превышать вертикальные. В связи с этим в данной статье рассматриваются общие деформации основания, рассчитанные по формуле (4), то есть учтены как вертикальные, так и горизонтальные составляющие деформаций основания.

$$|u| = \left( u_x^2 + u_y^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где  $u_x$  — горизонтальная составляющая деформаций основания,  $u_y$  — вертикальная составляющая деформаций основания.

### Результаты и обсуждение

При обоих вариантах расчета жилое здание попадает в зону влияния реконструкции, так как согласно СП 22.13330.2016, п. 9.34 радиус

зоны влияния нового строительства или реконструкции допускается ограничивать расстоянием, при котором расчетное значение дополнительной осадки грунтового массива или основания существующего сооружения окружающей застройки не превышает 1 мм. Рассчитанный радиус зоны влияния (считается от края реконструируемого сооружения) при традиционном расчете составил 26 м, при стохастическом — 31 м. При использовании традиционного подхода в основании жилого здания выявлены деформации, не превышающие норму (4,6 мм), тогда как при стохастическом расчете с увеличением глубины сжимаемой толщи деформации составили 8,6 мм, что выше предельных дополнительных деформаций согласно СП 22.13330.2016, при этом разница между полученными значениями деформаций существенна: результат стохастического расчета на 87% больше. Расчетная относительная разность осадок составила 0,00009, что гораздо меньше допустимого значения 0,0004.

Также отметим, что неоднородное строение грунтовой толщи, а именно выклинивание суглинка мягкопластичного ( $aQIII$ ), приводит к неравномерному распределению деформаций в основании реконструируемого сооружения, что отражено на рисунке 3, при этом допустимая относительная разность осадок не превышена. В данном случае применение стохастического подхода показало результаты, еще более отличные от традиционного расчета. Конечная осадка (общие деформации) реконструируемого сооружения

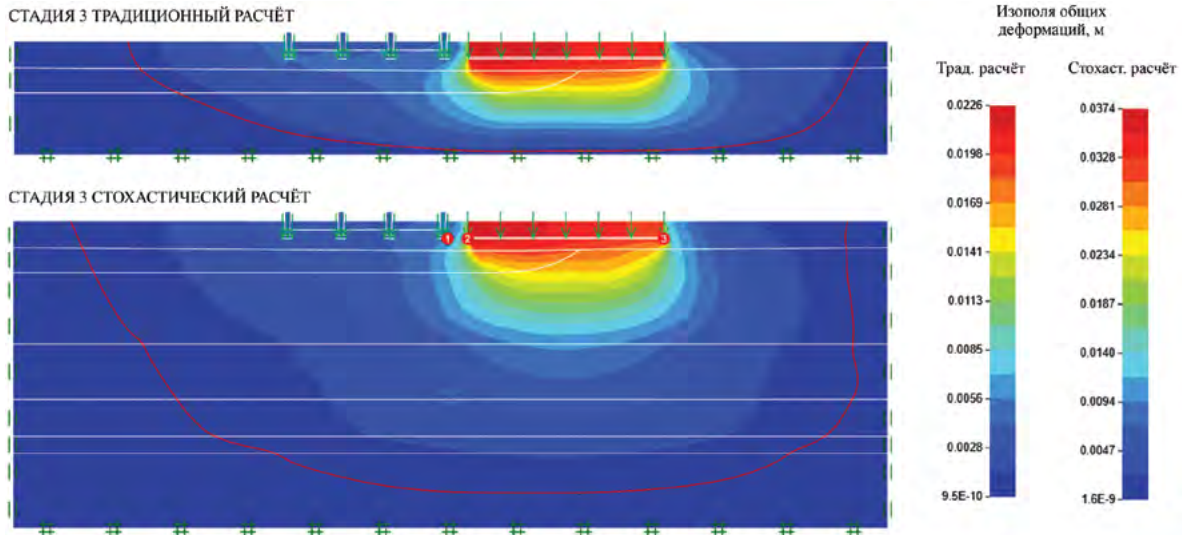


Рис. 3. Изополя общих деформаций на третьей стадии при традиционном и стохастическом с вероятностью 50 % вариантах расчета

Fig. 3. Isofields of general deformations at the third stage, with traditional and stochastic with a probability of 50 %, calculation options

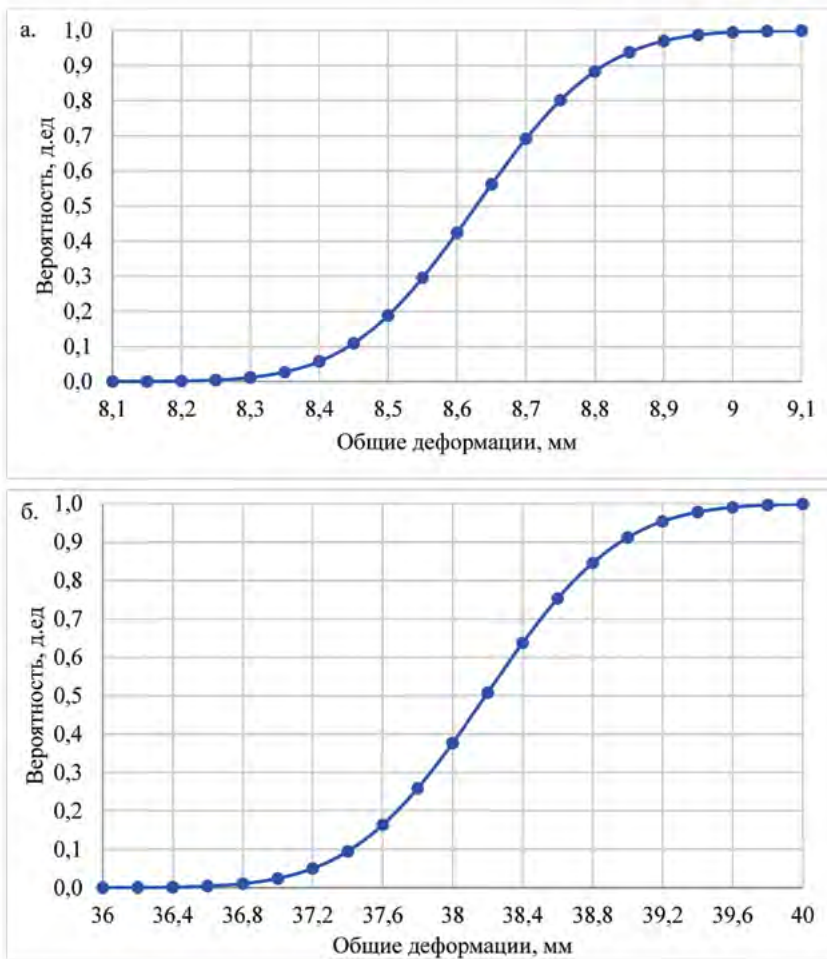


Рис. 4. Кумулятивные кривые функции распределения общих деформаций по результатам стохастического расчета: а — реконструируемое здание; б — жилое здание

Fig. 4. Cumulative curves of the distribution function of total displacements based on the results of stochastic calculation: а — reconstructed building; б — residential building

превысила норму и составила 38,2 мм при стохастическом расчете, в то время как при традиционном расчете конечная осадка не превышает 22,6 мм, что является допустимым значением.

Кроме того, обработка данных, получаемых при стохастическом расчете, определение стандартного отклонения и среднего значения общих деформаций позволяют построить кумулятивную кривую функции распределения (рис. 4), на основе которой определяется вероятность превышения заданного значения осадки. Так, например, для реконструируемого сооружения вероятность превышения общих деформаций, равных 38 мм, составит 62 %.

Если в качестве заданного значения принять допустимую величину общих деформаций, равную для жилого и реконструируемого зданий 0,005 и 0,03 м соответственно, то можно заключить, что с одинаковой вероятностью, близкой к 100 %, заданная величина общих деформаций оснований будет превышена для жилого и реконструируемого зданий.

#### Заключение

Применение стохастического подхода в инженерной геологии на сегодняшний день как никогда актуально и необходимо. Стохастические методы позволяют учесть вероятностный характер распределения свойств в массиве, что повышает достоверность получаемых результатов расчетов [5, 7].

Более того, стохастические методы обеспечивают возможность проведения вероятностного анализа, предоставляя данные для оценки вероятности превышения заданных значений в данном исследовании общих деформаций (конечной осадки) основания.

Однако внедрение стохастических методов требует корректного определения ключевых параметров, таких как, например, глубина сжимаемой толщи. Сравнение различных подходов к ее определению показывает, что использование методов, описанных в нормативных документах, может привести к существенным погрешностям в получаемых результатах [1, 6]. Важно продолжать процесс совершенствования нормативной базы и методических рекомендаций для обеспечения достоверности получаемой инженерно-геологической информации.

Кроме того, в выполненных расчетах учитывается повышение модуля общей деформации грунта с увеличением глубины. Этот фактор существенно влияет на распределение напряжений и деформаций в массиве грунта, что в конечном счете также сказывается на величине конечной осадки основания.

Полученные результаты подчеркивают необходимость внедрения стохастических методов в современную практику проектирования, что, в свою очередь, приведет к повышению надежности и экономической эффективности строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов А.А., Фоменко И.К. Оценка глубины сжимаемой толщи при расчетах оснований фундаментов. XI Международная научная конференция молодых ученых «Молодые — Научкам о Земле». М., 2024. С. 15–19.
2. Горлов А.А., Фоменко И.К. Стохастический расчет осадки основания фундамента с использованием метода случайных конечных элементов (RFEM). Материалы шестой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». М., 2024. С. 150–156.
3. Зеркаль О.В., Фоменко И.К., Самарин Е.Н. Вероятностный подход при моделировании устойчивости склонов: реализация и особенности. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2023. № 6. С. 26–38.
4. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Вероятностно-статистические подходы к оценке неопределенности литотехнических систем. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2020. № 2. С. 65–74.
5. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: Изд-во АСВ, 1998.
6. Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Горлов А.А., Аверин И.В., Шубина Д.Д. Оценка сжимаемой толщи оснований фундаментов при численном моделировании (в порядке обсуждения). Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 8. С. 65–70.
7. Фоменко И.К., Кропоткин М.П. Сравнение вероятностных расчетов при анализе устойчивости откосов дорожных насыпей методом конечных элементов. Материалы восемнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М., 2023. С. 19–27.
8. Baecher G., Christian J. Reliability and statistics in geotechnical engineering. New Jersey, USA: Publishing house of the John Wiley and Sons. 2005.
9. Fenton G., Griffith D. Risk assessment in geotechnical engineering. New Jersey, USA: Publishing house of the John Wiley & Sons. 2008.
10. Griffiths D., Fenton G. Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering. New York, USA: Publishing house of Springer. 2007.
11. Ohde J. Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund. Der Bauingenieur. № 20. 1939. Heft 33/34. P. 451–459.

12. Tang C., Phoon K.-K. Databases for Data-Centric Geotechnics: Geotechnical Structures. Boca Raton: CRC Press. 2025.
13. Terzaghi K., Peck R., Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice. New Jersey, USA: Publishing house of the John Wiley & Sons. 1996. P. 592.
14. Vanmarcke E. Random fields: analysis and synthesis. Cambridge, UK: MIT Press. 1983.

## REFERENCES

1. Gorlov A.A., Fomenko I.K. Assessment of the depth of the compressible stratum when calculating the foundations of foundations. XI International Scientific Conference of young scientists «Young — Earth Sciences». Moscow, 2024. P. 15–19 (In Russ.).
2. Gorlov A.A., Fomenko I.K. Stochastic calculation of the foundation foundation precipitation using the random finite element method (RFEM). Proceedings of the sixth All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Specialists «Engineering surveys in construction». Moscow, 2024. P. 150–156 (In Russ.).
3. Zerkal O.V., Fomenko I.K., Samarin E.N., 2023. Probabilistic approach to slope stability modeling: implementation and features. Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2023. No. 6. P. 26–38 (In Russ.).
4. Kurguzov K.V., Fomenko I.K., Sirotkina O.N. Probabilistic and statistical approaches to estimating uncertainty of lithotechnical systems. Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2020. No. 2. P. 65–74 (In Russ.).
5. Raiser V.D. Theory of reliability in construction design. Moscow: Publishing House of the DIA, 1998 (In Russ.).
6. Fomenko I.K., Zerkal O.V., Gorlov A.A., Averin I.V., Shubina D.D. Evaluation of the compressible thickness of foundations in numerical modeling (in the order of discussion). Industrial and civil engineering. 2024. No. 8. P. 65–70 (In Russ.).
7. Fomenko I.K., Kropotkin M.P. Comparison of probabilistic calculations in the analysis of the stability of slopes of road embankments by the finite element method. Materials of the eighteenth All-Russian Scientific and Practical Conference and exhibition «Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation». Moscow, 2023. P. 19–27 (In Russ.).
8. Baecher G., Christian J. Reliability and statistics in geotechnical engineering. New Jersey, USA: Publishing house of the John Wiley and Sons. 2005.
9. Fenton G., Griffith D. Risk assessment in geotechnical engineering. New Jersey, USA: Publishing house of the John Wiley & Sons. 2008.
10. Griffiths D., Fenton G. Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering. New York, USA: Publishing house of Springer. 2007.
11. Ohde J. Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund. Der Bauingenieur. № 20. 1939. Heft 33/34. p. 451–459.
12. Tang C., Phoon K.-K. Databases for Data-Centric Geotechnics: Geotechnical Structures. Boca Raton: CRC Press. 2025.
13. Terzaghi K., Peck R., Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice. New Jersey, USA: Publishing house of the John Wiley & Sons. 1996. P. 592.
14. Vanmarcke E. Random fields: analysis and synthesis. Cambridge, UK: MIT Press. 1983.

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Горлов А.А. — подготовил текст статьи, подготовил данные для построения и расчета моделей в программе OptumG2, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Фоменко И.К. — разработал концепцию статьи, определил методы исследования, внес вклад в подготовку текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Наумов М.А. — выполнил обработку данных для вероятностной оценки, внес вклад в подготовку текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Andrey A. Gorlov — prepared the text of the article, prepared the data for constructing and calculating models in the OptumG2 program, finally approved the published version of the article and agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

Igor K. Fomenko — developed the concept of the article, defined the research methods, contributed to the preparation of the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

Mikhail A. Naumov — performed data processing for probabilistic estimation, contributed to the preparation of the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Горлов Андрей Александрович\*** — аспирант кафедры инженерной геологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,  
23, ул. Миклухо-Маклая, Москва 117997, Россия  
e-mail: [andrey.gor10@yandex.ru](mailto:andrey.gor10@yandex.ru)  
SPIN-код: 3842–6251  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3486-3051>

**Andrey A. Gorlov\*** — Post-graduate researcher of the Department of Engineering Geology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
Miklukho-Maklaya str., 23, Moscow 117997, Russia  
e-mail: [andrey.gor10@yandex.ru](mailto:andrey.gor10@yandex.ru)  
SPIN-code: 3842–6251  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3486-3051>

**Фоменко Игорь Константинович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,  
23, ул. Миклухо-Маклая, Москва 117997, Россия  
e-mail: [ifolga@gmail.com](mailto:ifolga@gmail.com)  
SPIN-код: 9127–1871  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

**Igor K. Fomenko** — Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Professor of the Department of Engineering Geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [ifolga@gmail.com](mailto:ifolga@gmail.com)  
SPIN-code: 9127–1871  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

**Наумов Михаил Александрович** — аспирант кафедры инженерной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,  
23, ул. Миклухо-Маклая, Москва 117997, Россия  
e-mail: [naumovma@mgri.ru](mailto:naumovma@mgri.ru)  
SPIN-код: 5048–6082  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6323-384X>

**Mikhail A. Naumov** — Post-graduate researcher of the Department of Engineering Geology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
Miklukho-Maklaya str., 23, Moscow 117997, Russia  
e-mail: [naumovma@mgri.ru](mailto:naumovma@mgri.ru)  
SPIN-code: 5048–6082  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6323-384X>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author