

## ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

А. Э. Курилович

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 27 мая 2014 г.

**Аннотация:** в статье рассматривается ряд направлений оптимизации комплекса инженерно-геологических изысканий для обоснования проектирования строительства. Основное внимание уделяется методике регионального обобщения материалов изысканий, проведенных на территории крупных населенных пунктов и промышленных объектов.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические изыскания, номенклатурное наименование грунта, инженерно-геологический элемент, расчетный грунтовый элемент, региональный эталонный инженерно-геологический элемент, сортированность, типизация и классификация песков, физические свойства грунта, физико-механические свойства грунта, нормативные и расчетные значения.

### SOME OPTIMISATION APPROCHES TO ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEY BATTARY

**Abstract:** the article is dedicated to some optimization approaches for the engineering-geological survey battery in construction planning grounds. Regional material generalization methods are the main points of considerations. The materials are available for most inhabited localities and industrial objects, and these methods help to reduce the survey cost.

**Key words:** engineering geological survey, soil, identifying soil name, soil nomenclature, engineering-geological element, estimated soil element, soil grading, soil classifying, sands grading and classification, range of soil, geo-technical element, physical properties of the soil, physic-mechanical properties of the soil, normative values, calculated values.

Оптимизация проведения комплекса инженерно-геологических изысканий для обоснования проектирования зданий и сооружений различного назначения является одной из первоочередных задач, стоящих перед инженерами-геологами, работающими в условиях рыночной экономики в настоящее время. Главной ее целью является снижение трудоемкости, сроков, и, соответственно, себестоимости изыскательских работ при сохранении их высокой информативности. На наш взгляд, такого рода оптимизация может осуществляться путем:

1. Совершенствования нормативной базы инженерно-геологических изысканий.
2. Получения дополнительной информации из результатов некоторых стандартно выполняемых видов работ.
3. Поиска корреляционных зависимостей между различными показателями свойств грунтов, развитых на конкретных территориях.
4. Путем регионального обобщения материалов изысканий, проведенных на территории крупных населенных пунктов и промышленных объектов в предыдущее время.

Несомненно, что перманентно осуществляемая разработка и дальнейшее совершенствование пятиуровневой системы нормативных документов, действующей в настоящее время в области инженерных изысканий, является основополагающим (стратегическим) направлением, поскольку именно существующая нормативная база определяет как условия проведения, так и саму возможность оптимизации рабочего

процесса. Этот вопрос активно обсуждается в периодической печати (Всероссийский научно-аналитический журнал «Инженерные изыскания» и т.д.) и, очевидно, заслуживает отдельного рассмотрения. Более подробно коснемся некоторых частных (тактических) направлений повышения производительности изыскательских работ.

В качестве примера извлечения дополнительных данных из результатов стандартных изыскательских работ можно привести определение плотности песчаных грунтов по данным статического зондирования [1]. Результаты такого определения являются вполне удовлетворительными для четвертичных кварцевых, кварц-полевошпатовых песков средней плотности сложения. Для аналогичных песков, имеющих плотное и рыхлое сложение, данная методика не применима или нуждается в дальнейшем совершенствовании.

Поиск корреляционных зависимостей между показателями физических, физико-химических и физико-механических свойств различных грунтов [2] может проводиться как на основе регионального обобщения фондовых материалов предыдущих исследований, так и путем локальных обобщений на площадках конкретных объектов инженерно-геологических изысканий и в прилегающей к ним зоне. Использование уравнений регрессии, выведенных для оценки взаимосвязи показателей некоторых свойств генетически и литологически однородных грунтов, развитых на конкретных территориях, позволит существенно сократить объем и стоимость лабораторных работ при

обеспечении их высокой информативности.

В целом, работа по этим двум направлениям представляется достаточно перспективной.

Региональное обобщение материалов инженерно-геологических изысканий, как правило, проводится по стандартной методике путем создания комплектов инженерно-геологических карт различного масштаба и баз данных показателей свойств грунтов. Нами разработана методика обобщения данных по свойствам песчаных грунтов с учетом стратиграфо-генетических особенностей и гранулометрического состава [3,4].

Изучение зернового состава плейстоценовых песчаных отложений проводилось по оригинальной методике на шести опорных участках, расположенных вниз по течению р. Дон на расстоянии 20–50 км друг от друга и приуроченных к следующим населенным пунктам: с. Кривоборье, с. Новоживотинное, с. Подгорное, г. Нововоронеж, г. Лиски, с. Духовое. Общая длина территории проведения исследований достигает 150 км.

При этом использовалась разработанная и апробированная математическая модель построения кумулятивной кривой гранулометрического состава песчаных отложений, основанная на предположении, что распределение частиц по фракциям задается суммой трех логнормальных кривых распределения: по песчаной части пробы, по грубозернисто-гравийной и по алеврито-глинистой [5].

В результате анализа совокупности частных значений коэффициентов асимметрии и эксцесса, рассчитанных по процентным точкам (3010 проб), проведена типизация плейстоценовых аллювиальных и флювиогляциальных песков по степени сортированности. В рассматриваемых выборках установлено наличие трех типов песка (1, 2 и 3), различающихся по параметрам сортировки. Пески типа 1 и 2 в свою очередь подразделяются на подтипы "а" и "б".

Тип 1 – характеризуется значительным (до 25 %) присутствием алеврито-глинистых частиц и сильной асимметрией в сторону мелких фракций, очень крутовершинным распределением частиц.

Подтип 1а – пески неоднородные и повышенной неоднородности, характер эмпирического полигона распределения (ЭПР) является бимодальным.

Подтип 1б – пески повышенной до исключительной неоднородности, с би-трехмодальным ЭПР за счет повышенного (до 44 %) содержания грубозернистой и гравийной составляющих.

Тип 2 – отличается практическим отсутствием алеврито-глинистой составляющей, среднепологовершинным до крутовершинным распределением частиц, пески являются однородными.

Подтип 2а – пески с симметричным распределением частиц, характер ЭПР одномодальный.

Подтип 2б – пески с асимметрией в сторону крупных фракций, с би-одномодальным ЭПР, повышенным (до 36 %) содержанием грубозернистой и гравийной составляющих.

Тип 3 – пески с сильной асимметрией в сторону мелких фракций, с очень пологовершинным до поло-

говершинным распределением частиц, повышенной до исключительной неоднородности, бимодальным ЭПР. Алеврито-глинистые частицы присутствуют в количестве более 25 %.

Отмечена очень сильная вариабельность выделенных типов песка по медианному размеру частиц. В связи с этим была проведена их классификация по крупности. Выделено девять классов песка. Номер класса обозначает усредненный медианный размер зерен в десятых долях миллиметра. Наиболее широко в районе проведения исследований распространены пески класса 3, их количество составляет 65 % от числа изученных проб, несколько менее (по 17 %) пески классов 2 и 4, количество проб песка класса 5 достигает двух процентов. Кроме того, отмечены единичные пробы песков, отнесенных к классам 1, 6–9.

Предложено обобщенное выражение гранулометрического состава плейстоценовых аллювиальных и флювиогляциальных песчаных образований бассейна Верхнего Дона:

$$Na - M, \text{ где}$$

N – номер типа песка по сортированности; а – обозначение подтипа песка по сортированности; M – номер класса песка по медианному размеру.

Например, обозначение 1б-3 подразумевает песок типа 1б по сортированности с медианным размером 0,3 мм.

Установлена зависимость между особенностями гранулометрического состава и физическими свойствами песков выделенных типов. Средние значения их плотности скелета в пределах каждого отдельно взятого геологического тела закономерно соотносятся между собой. Присутствие в песках алеврито-глинистой составляющей, как правило, повышает значения показателей плотности, так как при этом за счет более плотной упаковки зерен понижается объем порового пространства.

Для песков типа 2 установлена тенденция к уменьшению объема порового пространства от более молодых геологических тел к более древним. В целом, обратная тенденция наблюдается для песков типа 1. Очевидно, это вызвано длительным формированием в массиве глинистых песков новых структурных связей, происходящим под влиянием постгенетических процессов, способствующих образованию микроагрегатов частиц и некоторому увеличению со временем объема порового пространства. Этому способствует уменьшение природной влажности пород, залегающих на более высоких гипсометрических отметках.

Средние значения плотности скелета песка подтипов «б» соответственно выше, чем для песков подтипов «а».

Таким образом, установлено, что сортированность в значительной степени определяет плотность скелета песчаного грунта. Это обстоятельство может быть использовано для оптимизации инженерных изысканий на базе обобщения имеющихся фондовых материалов.

Основной грунтовой единицей, выделяемой при инженерно-геологической схематизации существующего или проектируемого объекта, является инженерно-геологический элемент (ИГЭ). Под ИГЭ понимают некоторый объем генетически однородного тела (линза, пласт и пр.), в пределах которого показатели состава, строения и свойств носят случайный характер [6]. Целью выделения инженерно-геологических элементов является моделирование строения сферы взаимодействия сооружения и геологической среды [7]. Комплекс ИГЭ образует инженерно-геологическую модель объекта. Основным критерий выделения – однородность и изотропность показателя, используемого в расчетах. Нормативные и расчетные показатели вычисляются для ИГЭ методами математической статистики согласно [8], правильность его выделения контролируется по значениям коэффициента вариации (V). Границы ИГЭ являются комбинаторными, т.е. определяются как геологическими границами, так и размерами, конструкцией, расположением сооружений. В необходимых случаях по отдельным важным для проектирования показателям могут быть выделены так называемые расчетные грунтовые элементы (РГЭ), представляющие собой часть одного либо совокупность нескольких ИГЭ. Комплекс РГЭ образует расчетную геомеханическую модель объекта.

Повышение надежности результатов инженерно-геологических изысканий при снижении трудоёмкости работ может быть достигнуто на основе усовершенствования обобщений фондовых материалов с учетом регионально-генетических условий путем выделения региональных эталонных инженерно-геологических элементов. Предложенный нами [9] термин "Региональный эталонный инженерно-геологический элемент" (РЭИГЭ) принципиально предполагает следующие отличия от стандартизированного ИГЭ.

1. При выделении РЭИГЭ используются фондовые материалы по множеству объектов на изучаемой территории. В данном случае учитывается не столько удаленность объектов друг от друга, сколько генетические особенности грунтов, слагающих активную

зону в их основании, и принадлежность к одним и тем же геоморфологическим элементам.

2. Для выделения стандартного ИГЭ необходимо в определенных случаях выполнить дополнительные и проверочные испытания грунтов.

Выделение РЭИГЭ проведено для песков некоторых геологических тел по участкам Нововоронежский и Лискинский на основании их гранулометрической типизации и классификации. Для этого использовались материалы изысканий по 175 объектам, предоставленные автору ООО «Геолог» (И. С. Ильин). При этом обозначение РЭИГЭ совпадает с обобщенной формулой аллювия, их потенциальное расположение – с границами соответствующих геологических тел. Включенные в РЭИГЭ нормативные и расчетные характеристики (табл. 1, 2) достаточно обоснованы для непосредственного использования при проектировании зданий и инженерных сооружений.

Дополнительные испытания грунтов проводятся в следующих случаях:

- во-первых, контрольные проверочные, если они необходимы;
- во-вторых, если в разрезе выделены пески, не попадающие по номенклатуре в установленные для данной территории РЭИГЭ;
- в-третьих, для поиска значительных по мощности прослоев песков рыхлого сложения, негативно влияющих на устойчивость строительных конструкций.

При проведении инженерно-геологических изысканий на указанных территориях устанавливаются геометрические границы развития данного слоя и подтверждается принадлежность исследуемого грунта к определенному РЭИГЭ. Идентификационными критериями являются: привязка на местности, т.е. отнесение грунта к той или иной террасе р. Дон, гранулометрический состав. Кроме того, необходимо определение природной влажности песчаного грунта. По данным гранулометрического анализа каждой пробы осуществляется компьютерный расчет типа песка по сортированности и класса по размерности.

Таблица № 1

Обобщенные значения плотности в сухом состоянии песков Нововоронежского опорного участка

Геол. тело	Тип песка	Нормативное (коэф. вариации)	Min	Max	Расчетное $\alpha = 0,85$	Расчетное $\alpha = 0,95$	Количество определений
Ф	1а-3	1,65 (0,03)	1,51	1,79	1,64	1,63	28
	2а-3	1,66 (0,03)	1,53	1,79	1,65	1,65	44
	2б-3	1,65 (0,01)	1,59	1,71	1,65	1,64	12
	2б-4	1,66 (0,02)	1,56	1,76	1,65	1,65	26
КР	1а-2	1,69 (0,02)	1,57	1,81	1,68	1,67	10
	1а-3	1,68 (0,04)	1,46	1,90	1,67	1,66	49
	2а-3	1,64 (0,05)	1,38	1,90	1,63	1,62	59
	2б-3	1,65 (0,05)	1,40	1,90	1,63	1,62	27
	2б-4	1,64 (0,04)	1,45	1,83	1,63	1,62	26

Примечание: Ф – пески Воронежской флювиогляциальной гряды, КР – 4-й (кривоборьевской) надпойменной террасы.

Таблица № 2

## Обобщенные значения плотности в сухом состоянии песков Лискинского опорного участка

Геол. тело	Тип песка	Нормативное (коэф. вариации)	Min	Max	Расчетное $\alpha = 0,85$	Расчетное $\alpha = 0,95$	Количество определений
КР	1а-2	1,62 (0,04)	1,43	1,81	1,60	1,59	12
	2а-2	1,67 (0,03)	1,51	1,83	1,66	1,66	43
КР	2а-3	1,68 (0,03)	1,51	1,85	1,67	1,67	78
	2б-3	1,69 (0,03)	1,54	1,84	1,68	1,67	69
ПГ	2а-2	1,65 (0,04)	1,45	1,85	1,64	1,63	32
	2а-3	1,65 (0,04)	1,45	1,85	1,64	1,64	56
	2б-3	1,69 (0,04)	1,51	1,87	1,68	1,67	30
ДХП	1а-2	1,72 (0,05)	1,46	1,98	1,69	1,68	13
	1а-3	1,74 (0,05)	1,48	2,00	1,71	1,70	14
	2а-2	1,66 (0,04)	1,44	1,88	1,65	1,65	74
	2а-3	1,64 (0,05)	1,41	1,87	1,63	1,63	154
	2б-3	1,67 (0,04)	1,45	1,89	1,66	1,65	34
ПВП	2а-2	1,63 (0,04)	1,44	1,83	1,62	1,62	59
	2а-3	1,62 (0,04)	1,43	1,82	1,61	1,61	124
	2б-3	1,65 (0,04)	1,46	1,84	1,64	1,64	52

Примечание: КР – 4-й (кривоборьевской) надпойменной террасы, ПГ – 3-й (подгоренской) надпойменной террасы, ДХП – перигляциальной свиты высокого (духовского) уровня 2-й надпойменной террасы, ПВП – перигляциальной свиты среднего (павловского) уровня 2-й надпойменной террасы.

В случае, если активная зона проектируемого сооружения сложена монотонной толщей песков одного РЭИГЭ, для расчета по деформациям и несущей способности допустимо применение расчетных значений плотности сухого грунта ( $\rho_d$ ) и коэффициента пористости ( $e$ ), приведенных в табл. № 1, 2. Расчетное значение плотности грунта при природной влажности ( $\rho$ ) для необходимых достоверных вероятностей вычисляется по формуле:

$$\rho = \rho_d (1+W), \text{ где}$$

$W$  – нормативное значение природной влажности песка (д. ед.).

Если грунтовая толща представлена переслаиванием песков, отнесенных к разным РЭИГЭ, по этой формуле для каждой пробы определяется частное (индивидуальное) значение плотности песка. Статистическая обработка результатов испытаний проводится согласно [8].

И, наконец, при обнаружении в разрезе прослоев песков, не относящихся к выделенным РЭИГЭ, результаты их испытаний должны быть статистически обработаны совместно с данными обобщений по указанной методике.

Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик сооружений III и в случаях, оговоренных [10, 11] – II уровня ответственности, могут быть приняты в зависимости от гранулометрического состава и коэффициента пористости ( $e$ ) согласно [11, табл. Б1].

Таким образом, в данной схеме реализованы следующие ранее разработанные коллективом института ЦНИИПРОЕКТ [12], на наш взгляд, актуальные и в настоящее время принципы оптимизации инженерно-геологических изысканий.

1. Обратной связи, ставящей решение изыскательской задачи в зависимость от проектного решения.
2. Оптимальности, согласно которому выбираются параметры оптимизации.
3. Адаптации, заключающейся в последовательной корректировке (координации) плана изысканий в зависимости от поступающей геологической информации.

При этом достигается, во-первых, повышение достоверности получаемых данных, во-вторых, снижается трудоемкость полевых и лабораторных исследований. Наиболее удобно применение этой методики при поэтапном проведении изысканий, когда полевые работы выполняются в два этапа, а также при наличии материалов ранее выполненных изысканий в контурах площадки проектируемого строительства. Кроме того, результаты исследований могут быть применены при составлении программы изысканий для строительства.

Вновь поступающие данные должны заноситься в компьютерный банк и использоваться как для уточнения нормативных и расчетных показателей физических свойств ранее выделенных, так и для установления новых РЭИГЭ в пределах изученных геологиче-

ских тел Нововоронежского и Лискинского опорных участков. Апробированная на этих участках методика может быть использована при проведении аналогичных работ в населенных пунктах, наиболее детально изученных в инженерно-геологическом отношении, расположенных в пределах надпойменных террас Верхнего и Среднего Дона, а также некоторых его притоков. В частности, возможно осуществление таких обобщений по территории гг. Воронеж, Новохоперск, Россошь и других населенных пунктов Воронежской области. Кроме того, на основании обобщения и сопоставления результатов опытных полевых работ и данных лабораторного определения гранулометрического состава представляется перспективным определение для выделенных типов и классов песков нормативных и расчетных показателей прочностных и деформационных характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курилович А. Э. К вопросу об определении физических свойств песчаных грунтов по данным статического зондирования / А. Э. Курилович // Вестник Воронеж гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2013. – № 2. – С. 184–187.
2. Курилович А. Э. Изучение показателей пластичности флювиогляциальных глинистых отложений на территории г. Воронежа / А. Э. Курилович // Вестник Воронеж гос. ун-та. Сер.: Геология – 2014. – № 1. – С. 130–135.
3. Холмовой Г. В. Неоген-четвертичный аллювий и полезные ископаемые бассейна Верхнего Дона / Г. В. Холмовой. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. – 100 с.
4. Курилович А. Э. Взаимосвязь сортированности и физических свойств аллювиально-флювиогляциальных песчаных грунтов / А. Э. Курилович // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии. Труды Международ. науч. конф. – М.: МГУ, 2010. – С. 66–67.
5. Курилович А. Э. Математическая модель построения кумулятивной кривой гранулометрического состава песков / А. Э. Курилович, Л. А. Минин // Вестник Воронеж гос. ун-та. Сер.: Геология – 1999. – № 8. – С. 33–38.
6. Сергеев Е. М. Грунтоведение: учеб. / Е. М. Сергеев – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 398 с.
7. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г. К. Бондарик – М.: Недра, 1982. – 256 с.
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 20522–2012. "Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний". – М.: Госстрой РФ, 2013.
9. Оптимизация комплекса инженерно-геологических изысканий для строительства. Отчет о НИР по программе «Строительство» 1992–1994 гг. / ВГУ, руководитель Смоляницкий Л. А.
10. Свод правил СП 47.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 11–02–96. «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: Госстрой РФ, 2013.
11. Свод правил СП 22.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*. «Основания зданий и сооружений. – М.: Госстрой РФ, 2012.
12. Разработать теоретические основы решения задач оптимизации инженерно-геологической и гидрогеологической разведки и опробования на базе использования методов моделирования. Отчет о НИР / ЦНИИпроект, руководитель Рац М. В. – М., 1983. – 152 с.

*Воронежский государственный университет*

*Voronezh State University*

*Курилович А. Э., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии ВГУ,*

*Kurilovich A. E., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, associate professor of the Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology Department*

*E-mail: alkurae@mail.ru*

*E-mail: alkurae@mail.ru*

*Тел.: 8(473) 2-208-980*

*Tel.: 8(473) 2-208-980*