

## **Анализ программных продуктов по автоматизированной обработке данных статического зондирования грунтов**

Мельников А.В., Гулько А.В., Ничипуренко С.С.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ООО «НПП-Геотек»

### **Введение**

Метод статического зондирования грунтов используется успешно в инженерно-геологической практике не менее 100 лет, постоянно видоизменяясь и совершенствуясь в течение рассматриваемого периода времени. Из-за простоты технологии испытаний он широко используется как в России, так и большинстве зарубежных стран. Технология испытаний достаточно полно рассмотрена в ряде нормативных документов [1, 2, 3] монографий [4], многочисленных статей и конференций [5, 6].

Несмотря на простоту испытаний грунтов методом статического зондирования и отработанную технологию измерений параметров статического зондирования, такие как лобовое сопротивление, силы трения, поровое давление, скорость поперечных волн и др. до сих пор не решена проблема интерпретации этих параметров с целью определения физических и механических характеристик исследуемых грунтов.

Можно отметить, что к настоящему времени в той или иной степени решена проблема выделения инженерно-геологических элементов с использованием параметров статического зондирования. Для этого в зарубежной практике используются номограммы, предложенные Роберстоном [7] и модернизированные в последствие рядом других исследователей [8, 9]. В России для этой цели используются таблицы, приведенные в СП 47.13330 [10]. Следует заметить, что как таблицы, так и отмеченные номограммы не дают однозначной классификации типа грунта, в особенности глинистых грунтов. Поэтому одновременно с полевыми испытаниями приходится проводить лабораторные испытания грунтов с целью определения ряда физических характеристик и классификации типа грунта по правилам ГОСТ 25100 [11] или ASTM D.

Более сложным является вопрос определения механических свойств грунтов с использованием параметров статического зондирования. Большинство исследователей предлагают использовать для этого корреляционные связи между параметрами статического зондирования и деформационными и прочностными характеристиками грунтов [1]. Известно большое количество найденных эмпирических уравнений, которые предлагаются использовать при интерпретации механических свойств преимущественно песчаных грунтов. Например, в программе NovoCPT [13] приведено 280 корреляционных уравнений для определения физико-механических свойств грунтов используя параметры статического зондирования. Кроме отмеченной программы, используется ряд других программ, которые позволяют как выделить, так и определить физико-механических свойств исследуемых грунтов.

Цель настоящей работы заключается в оценке существующих методов интерпретации данных статического зондирования, приведенные в различных отечественных и зарубежных программах. В данной работе выполнен анализ ряда зарубежных программных комплексов для обработки инженерно-геологической информации CPT-pro [12], NovoCPT [13], CLiq v.1.7 [22], CPeT-ITv.1.6 [23], CPTTool 3 [24] и программы применяемые в отечественной практике изысканий CREDO [14], EngGeo [15], GeoExplorer [19], GeoniCS [16], ГИС Карта 2011 + модуль НижегородГИСИЗ [18] и платформа GEOTECH [18].

При анализе программ применены следующие основные критерии.

1. Обработка и интерпретация данных измерений при проведении полевых и лабораторных испытаний грунтов.

2. Способность формирования колонок и инженерно-геологических разрезов, в том числе построение пространственной инженерно-геологической модели.
3. Наличие модулей определения физико-механических характеристик грунтов с использованием аналитических решений или корреляционных уравнений между измеряемыми параметрами и характеристиками грунтов.
4. Возможность формирования цифровой трехмерной инженерно-геологической модели с массивом физико-механических характеристик грунтов.
5. Наличие интерфейса с программными комплексами для расчета оснований зданий и сооружений по деформациям и несущей способности.

## 1. Обзор программных комплексов для инженерно-геологических изысканий

Все рассмотренные ниже программные комплексы имеют различное назначение. Каждый из них применяется на определенной стадии инженерно-геологических изысканий.

На рисунке 1а представлены основные этапы инженерных изысканий, завершаемые формированием стандартного инженерно-геологического отчета (требования СП 47.13330), а на рисунке 1б завершаемые формированием цифровой трехмерной инженерно-геологической модели исследуемого массива грунта и введением интерфейса для передачи данных изысканий в расчетные программные комплексы, используемые методы аналитического (СП 22.13330 [20], СП 23.13330 [21] и др.) и численного проектирования (Plaxis [25], GTSNX [26], CivilFem [27] и др.) оснований зданий и сооружений.

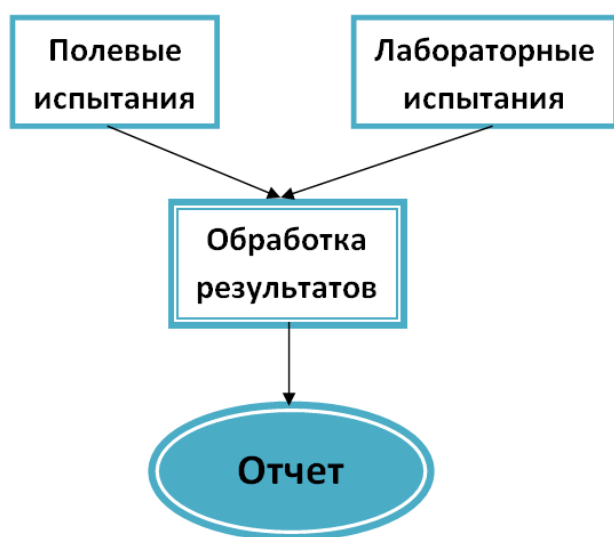


Рис. 1а.



Рис. 1б.

Рис. 1. Основные этапы инженерных изысканий

Рассмотрим подробнее программные комплексы данного этапа.

## Программные комплексы, обрабатывающие инженерно-геологическую информацию

Название программного комплекса	Достоинства	Недостатки	Форматы данных	
			Import	Export
<b>CPT-pro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает различные виды испытаний: динамическое и статическое зондирование.</li> <li>• Имеет собственный CAD-модуль.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствие обработки лабораторных испытаний.</li> <li>• Определение типа грунта не по отечественным стандартам.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные зондирования (*.AGS, *.GEF, *.TXT).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.AGS, *.GEF, *.DXF, *.DWG</li> </ul>
<b>NovoCPT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Большое количество корреляционных уравнений (280) для расчета физико-механических свойств грунтов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает результаты только статического зондирования.</li> <li>• Определение типа грунта не по отечественным стандартам.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные зондирования. (*.TXT, *.COR, *.GRU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.XML</li> </ul>
<b>CREDO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает результаты и лабораторных, и полевых (статическое и динамическое зондирования) испытаний.</li> <li>• Имеет свой CAD-модуль</li> <li>• Формирует пространственную инженерно-геологическую модель грунтов оснований</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает мало полевых испытаний (статическое и динамическое зондирования).</li> <li>• Без модуля CREDO ГЕОКОЛОНКА модуль CREDO ГЕОЛОГИЯ не будет полностью функционировать.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные зондирования. (*.XML, *.OFG, *.OGM, *.DXF). Лабораторные испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.DXF, *.OBX, *.XML, *.DBX</li> </ul>

<b>EngGeo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает как полевые (статическое, динамическое зондирования; штамповые испытания; испытания радиальным прессиомером; испытания вращательным срезом (крыльчатка); термокаротаж), так и лабораторные испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствие своей CAD системы (работает с AutoCAD или MicroStation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные зондирования (*.XML). Лабораторные испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.EGE</li> </ul>
<b>GeoExplorer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает результаты статического и динамического зондирования, прессиометрического и штампового испытаний.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не имеет CAD-системы.</li> <li>• Не обрабатывает лабораторные испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.TXT, *.XML</li> </ul>
<b>GeoniCS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает лабораторные и полевые испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нет своей CAD-системы (разрез строится с применением системы AutoCAD)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные зондирования.</li> <li>• (*.DWG, *.DXF)</li> <li>• Лабораторные испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
<b>ГИС Карта 2011 + модуль НижегородГИСИЗ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Полный комплекс лабораторных испытаний.</li> <li>• Возможность использования геологических данных для дальнейшей обработки в ГИС-системах.</li> <li>• Формирует пространственную инженерно-геологическую модель грунтов оснований.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нет информации о обновлениях.</li> <li>• Обрабатывает мало методов испытаний зондированием.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные зондирования. Лабораторные испытания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.BMP, *.EMF, *.DXF.</li> </ul>
<b>платформа</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обрабатывает как полевые</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD работает на</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данные</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• *.DXF</li> </ul>

<b>GEOTECH</b>	так и лабораторные испытания. <ul style="list-style-type: none"> <li>Имеет CAD (GeoDraw).</li> </ul>	платформе AutoCAD	зондирования. Лабораторные испытания (данные с АСИС).	
<b>CLiq v.1.7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обработывает данные СРТ и СРТУ зондирования.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Нет лабораторных испытаний.</li> <li>работает по зарубежным стандартам.</li> <li>Нет CAD-системы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Данные зондирования. (*.TXT, *.XLS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*.TXT, *.XLS</li> </ul>
<b>СРeT-IT v.1.6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обработывает данные СРТ и СРТУ зондирования.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Нет лабораторных испытаний.</li> <li>работает по зарубежным стандартам.</li> <li>Нет CAD-системы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Данные зондирования. (*.TXT, *.XLS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*.TXT, *.XLS</li> </ul>
<b>СРТ Tool 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Большое количество корреляционных уравнений.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Нет лабораторных испытаний.</li> <li>Работает по зарубежным стандартам.</li> <li>Нет CAD-системы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Access</li> <li>AGS 3.1, AGS 3.1 RTA 1.1 and AGS4</li> <li>ConeTec (COR)</li> <li>Datem Neptune (CDF)</li> <li>GEF 1.1.0 and 1.0.0</li> <li>Geo-Explorer (CSV)</li> <li>gINT Excel</li> <li>gINT CSV</li> <li>Gregg Drilling (COR)</li> <li>Hogentogler (CPD)</li> <li>Pagani (CPT and DAT)</li> <li>SGF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>

## 2. Анализ программных продуктов

Выполненный обзор программных комплексов для сбора, хранения и обработки инженерно-геологической информации показывает, что ни один из рассмотренных комплексов не обладает полной автоматизацией инженерных изысканий, начиная с проведения лабораторных и полевых испытаний грунтов и заканчивая их последующей интерпретацией данных.

Понятно, что невозможно создать универсальную программу, которая поддерживала бы все существующие методы лабораторных и полевых испытаний, тем более, что в России не используются ряд методов, принятых в Евросоюзе и США. Такие методы можно увидеть в зарубежных программных комплексах, например, метод классификации грунта Робертсона.

Дополнительной проблемой является то, что не принят единый формат для инженерно-геологической информации. У каждого программного комплекса имеется свой формат для взаимодействия модулей внутри комплекса. И хотя они являются открытыми, но в большинстве случаев на них нет никакой документации.

Из предложенного обзора программных комплексов для обработки инженерно-геологических изысканий можно выделить EngGeo, который включает обработку большого спектра полевых и лабораторных испытаний, в то время как в других инженерно-геологических программных комплексах для изысканий преобладает обработка статического и динамического зондирования грунта.

Одним из лучших программных комплексов по обработке как полевых, так и лабораторных испытаний является платформа GEOTECH. Лаборатория программного комплекса позволяет вводить данные лабораторных испытаний и производить расчеты множества параметров проб грунта и воды. Видно, что программный комплекс постоянно обновляется и пополняется новыми функциональными возможностями, в том числе и увеличивается количество расчетных параметров.

Следует отметить, что и EngGeo, и платформа GEOTECH работают на платформе AutoCAD, что может привести к дополнительным трудностям при использовании этих продуктов. Имеются программные комплексы, работающие совместно с MicroStation или ГИС-системами, в отличие от CREDO и СРТ-рго, которые имеют собственную систему CAD.

На данный момент комплекс CREDO и ГИС Карта 2011 + НижегородГИСИЗ, которые помимо того же что делают представленные в таблице другие программные средства, могут формировать пространственную инженерно-геологическую модель грунтов оснований.

В диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук Козловского С. В. [28] были обоснованы и практически доказаны перспективы использования 3D моделей геологической среды, как основы для освоения подземного пространства территории проектируемого строительства и оптимизации различных видов исследований.

В ГИС Карта 2011 + модуль НижегородГИСИЗ отображение пространственной инженерно-геологической модели выглядит так, как показано на рис.2.

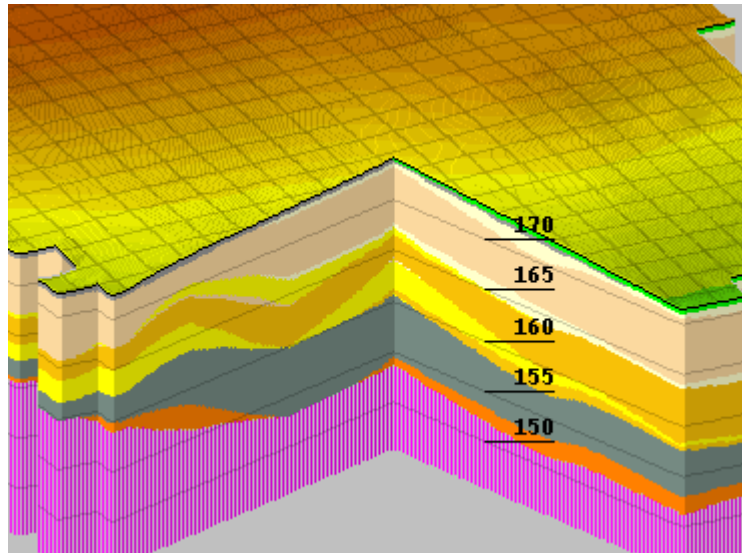


Рис.2. Пространственная инженерно-геологическая модель

В модуле Credo ГЕОЛОГИЯ она отображается в виде разреза. Для представления ее в трехмерном пространстве необходим модуль «Визуализация».

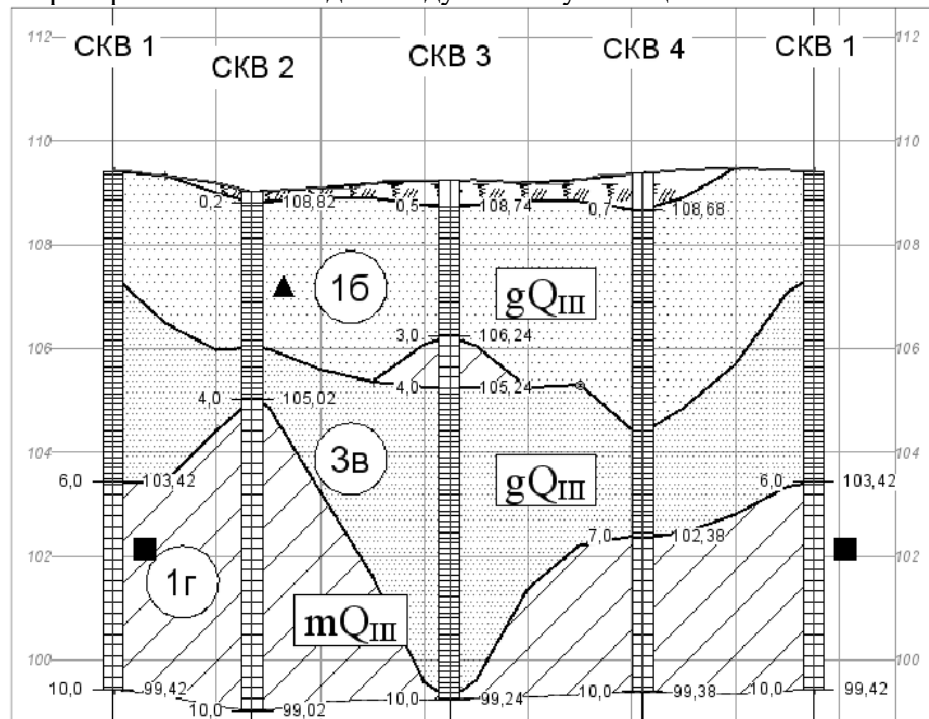


Рис. №. Разрез объемной инженерно-геологической модели

Так же комплекс Credo имеет модуль Credo КОНВЕРТЕР, который преобразует внутренний формат данных в другие наиболее распространенные, что делает его универсальным при экспорте данных в другие программные комплексы.

## **Выводы**

1. На рынке существуют программные комплексы для инженерно-геологических изысканий, позволяющие выполнять анализ данных, начиная от обработки геодезических данных и заканчивая построением пространственной инженерно-геологической модели. Передача данных из комплексов ИГИ в комплексы по расчету оснований и фундаментов осуществляется как автоматизировано на уровне экспорта/импорта файлов в форматах обмена данными и также вручную. Автоматизированная передача данных предпочтительна в сравнении с ручным вводом, т.к. исключает «человеческий фактор» и не требует дополнительных усилий от пользователя.

2. Принятие единого формата для инженерно-геологических изысканий могло бы упростить обмен информацией между программными комплексами, обрабатывающими данные лабораторных и полевых испытаний, и расчетными программами.

3. Из всех рассмотренных программных продуктов под поставленные выше критерии наиболее подходит CREDO, у которого помимо функций, присутствующих и у других комплексов, есть возможность формировать пространственную инженерно-геологическую модель.



## Список литературы

1. Болдырев Г.Г. Полевые методы испытаний грунтов
2. Болдырев Г.Г., Барвашов В.А. Автоматизация обработки инженерно-геологических изысканий. Состояние вопроса и задачи.
3. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием [Текст]. - Взамен ГОСТ 19912-81, ГОСТ 20069-81; введ. 2002-01-01. – М.: ГУП ЦПП, 2001.
4. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – Введ. 1985-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. ГОСТ 30672-99. Грунты. Полевые испытания. Общие положения [Текст]. – Введ. 2000-07-01. - М.: Минстрой России 2000.
6. Рыжков И. Б., Исаев О. Н. «Статическое зондирование грунтов»,
7. Захаров М.С. Проблемы инновационного развития статического зондирования// ЦГЭИ: сб. статей.//СПб.:2010, с.4-14.
8. Robertson P. K. and Cabal K.L. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. 2010,pp 25 – 30.
9. Jefferies, M. G., and Davies, M. P., 1993. Use of CPTu to estimate equivalent SPT N60. American Society for Testing and Materials, ASTM, Geotechnical Testing Journal, Vol. 16, No. 4, December, pp. 458 - 468.
10. Jefferies, M.G. and Been, K. Soil liquefaction – A critical state approach. 2006
11. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. - М., 2013. -117 с.
12. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация [Текст]. – Введ. 1996-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
13. GEOSOFT – geotechnicalsoftware URL:<http://www.geosoft.com.pl/> (дата обращения: 25.06.2014).
14. Novotech Software URL:<http://www.novotechsoftware.com/>. (дата обращения: 25.06.2014).
15. Компания «КРЕДО-ДИАЛОГ» URL: <http://www.credo-dialogue.com>(дата обращения:30.06.2014).
16. EngGeo инженерно-геологические изыскания URL: <http://enggeo.net/>(дата обращения 30.06.2014).
17. GeoniCS Изыскания URL: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/geonics-rgs/geonics-rgs-rgspl-10.html>(дата обращения: 30.06.2014).
18. Нижегородский трест инженерно-геологических изысканий ОАО «НижегородТИСИЗ» URL: <http://www.nntisiz.ru/>. (дата обращения: 30.06.2014).
19. Платформа GEOTECH URL: <http://www.uniservice-europe.co.uk/rus/geotech/default.htm> (дата обращения 30.06.2014).
20. Геотест URL: <http://geotest.ru/row/21>(дата обращения: 30.06.2014).
21. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. Проект.
22. СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85. Проект.
23. CLiq v.1.7 URL:<http://www.geologismiki.gr/Products/CLiq.html>.
24. CPeT-IT v.1.6 URL:<http://www.geologismiki.gr/Products/CPeT-IT.html>.
25. CPT Tool 3 URL: <http://www.datgel.com/DatgelCPTTool.aspx>.
26. Plaxis URL: <http://plaxis.nl/>.
27. GTS NX URL: <http://www.midasit.ru/>.
28. CivilFEM URL: <http://civilfem.com/>.

29. Козловский С.В. Теория и практика создания геоинформационной системы в инженерной геологии: дис. доктора геолого-минералогических наук/ Козловский Сергей Викторович. - М., 2011 – 313 с. - 09201150400.