

*А. В. Владыкина<sup>1</sup>, В. Н. Никитин<sup>1</sup>, В. С. Писарев<sup>1</sup>*

## **Разработка программного обеспечения для целей инженерных изысканий и мониторинга искусственных сооружений**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
e-mail: avladykina@yandex.ru

**Аннотация.** Автоматизированный мониторинг служит основой для создания эффективных систем контроля состояния гидросооружений и других искусственных грунтовых объектов. Расклинивающий дилатометр регистрирует на цифровом табло текущее значение давления или модуля деформации исследуемых грунтов для прямого определения деформационных свойств дисперсных грунтов в месте их залегания. Программное обеспечение позволяет получить файлы для статистической обработки и графики модуля деформации по глубине. ООО «Новосибирский инженерный центр» разработало индентор – расклинивающий дилатометр, глубина опробования грунтовой толщи ограничивается исключительно техническими характеристиками оборудования, вдавливающего индентор. В комплекте с дилатометром поставляется программа для обработки результатов испытаний, с выводом на печать частных значений по глубине и построением графика, совмещенного с геолого-литологической колонкой скважины.

**Ключевые слова:** геотехнический мониторинг, автоматизированные системы мониторинга, дилатометр, программное обеспечение, Delphi

*А. В. Владыкина<sup>1</sup>, В. Н. Никитин<sup>1</sup>, В. С. Писарев<sup>1</sup>*

## **Software development for the purposes of engineering surveys and monitoring of artificial structures**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: avladykina@yandex.ru

**Abstract.** Automated monitoring serves as the basis for the creation of effective systems for monitoring the condition of hydraulic structures and other artificial ground objects. A wedging dilatometer for direct determination of the deformation properties of dispersed soils at their location records the pressure value or distribution of cargo soils on a digital display. The software allows you to obtain data for statistical processing and graphs of the deformation modulus in depth. Novosibirsk Engineering Center LLC has developed an indenter – wedging dilatometer for direct determination of the deformation properties of dispersed soils in their place of occurrence. The depth of testing of the soil layer is limited only by the technical capabilities of the pressing equipment. Included with the dilatometer is a program for processing test results, with printing of particular values in depth and the construction of a graph combined with the geological and lithological column of the well.

**Keywords:** geotechnical monitoring, automated monitoring systems, dilatometer, software, Delphi

## *Введение*

В наше время с усовершенствованием и в тоже время усложнением технических процессов повысилась роль и значимость геопространственной информации, технологий и систем в экономике и жизнедеятельности общества. Строительство и эксплуатация технически сложных объектов на всех этапах функционирования сопровождается созданием 3-х мерных моделей, актуальных и постоянно обновляемых, в том числе создается модель геологического основания объекта. В дальнейшем на всех этапах функционирования объектов проводится геотехнический мониторинг, включающий анализ поверхностных и внутренних деформаций [1].

На территории России насчитывается около сорока тысяч гидротехнических сооружений: плотины, дамбы, отстойники, шламоохранилища, запруды, гидроэлектростанции, насосные станции, сооружения для сбора и сброса вод, шлюзы для обслуживания водного транспорта, каналы и другие объекты. Гидротехнические сооружения, это объекты повышенной опасности, на которых требуется производить непрерывное наблюдение за их состоянием для того, чтобы предотвратить и не допустить аварийные ситуации, связанные с воздействием опасных факторов природного и техногенного характера [2].

Таким образом, своевременный контроль позволяет предотвращать аварии, пожары, загрязнение почвы, воды и воздуха. Следует отметить, что сложные конструктивные сооружения и суровые природно-климатические условия приводят к существенным затруднениям при выполнении деформационного мониторинга [3].

Особое внимание уделяется внедрению и усовершенствованию систем автоматизированного мониторинга, а также разработке методик и оборудования для контроля объектов. Первостепенной задачей является использование оборудования, позволяющего выполнять мониторинговые измерения, производить контроль результатов измерений непрерывно или через короткие промежутки времени. Системы мониторинга могут быть автоматизированными полностью или частично, содержат комплекс датчиков, а также специализированное программное обеспечение и оборудование для интерпретации сигналов с датчиков. Последующий вывод данных на монитор диспетчерской производится для оповещения персонала в автоматическом режиме о возникших неполадках и оперативного их устранения или проведения эвакуации.

## *Методы и материалы*

Осуществление мониторинга гидротехнических сооружений производится в соответствии с нормативами, ГОСТ Р 55260.1.4-2012 "Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по организации и проведению мониторинга" [4]. Стандарт регламентирует разработку автоматизированного мониторинга и служит основой для создания эффективных систем контроля следующих параметров:

- напряженно-деформированное состояние бетонных конструкций;

- пьезометрический напор вод и фильтрационный расход;
- смещение сооружения или его элементов относительно горизонтальной плоскости;
- осадка строения и отклонение от нормали.

Наиболее эффективно отображают состояние объекта датчики, установленные в гидротехническое сооружение на стадии его строительства. Контрольно-измерительное оборудование можно разделить по месту его установки, где производится наблюдение за железобетонной частью сооружения и грунтовой:

- щелемеры, определяющие смещение относительно друг друга отдельных частей сооружения;
- датчики деформаций, следящие за напряженно-деформационным состоянием бетонных конструкций;
- пьезометры, обеспечивающие контроль фильтрационного напора вод в грунтах сооружения;
- инклинометры, измеряющие осадку сооружения и степень горизонтальной деформации отдельных элементов;
- плоские дилатометры для анализа давления в грунтах [2].

ООО «Новосибирский инженерный центр» разработало индентор – расклинивающий дилатометр, определяющий деформационные свойства дисперсных грунтов в месте их непосредственного залегания. На цифровом табло регистрирующего устройства отображается текущее значение давления или модуль деформации исследуемого грунта.

Основным рабочим элементом дилатометра является клиновидный рабочий наконечник. Индентор герметичен, не содержит подвижных частей, статичность конструкции обеспечивает надежность оборудования и точность измерения данных по глубине. Глубина опробования грунтов ограничивается техническими характеристиками и возможностями вдавливающего оборудования. Опробование осуществляется вдавливанием индентора в грунты, с помощью установки статического зондирования УСЗ 20.ZBT на шасси автомобиля КАМАЗ. Для снятия показателей используется измерительный прибор повышенной степени защиты Микросим 0601-БМ [5].

Индентор может быть погружен в тело плотины или дамбы и подключен к автоматизированной системе мониторинга. Представляют интерес данные, полученные при анализе форм рельефа при развитии оползневых процессов и явлений, а также оценке устойчивости грунтового массива при подпорных стенках, откосов отвалов.

В комплекте с дилатометром поставляется программа для обработки результатов испытаний, с выводом на печать частных значений по глубине и построением графика, совмещенного с геолого-литологической колонкой скважины. Ранее показатели записывались вручную, данные обрабатывались и хранились в программном модуле на основе Microsoft Access, и графики испытаний экспортировались в AutoCad.

## *Результаты*

Программное обеспечение для дилатометра разработано на объектно-ориентированном языке программирования Delphi 7. В техническом задании были поставлены следующие задачи:

- независимость программы от версий операционной системы Windows;
- подключение Микросим 0601-БМ и снятие показателей по команде с клавиатуры и по настраиваемому промежутку времени;
- получение полевых журналов и графиков для отчетной документации без использования сторонних графических программ.

Новый программный модуль для хранения и обмена данными использует файловую базу данных. Файлы измерений группируются в директории DataBase в папках, соответствующих точкам испытаний. В названии папок – дата испытания, номер дилатометра, номер точки испытания и краткое названия объекта. Такая организация базы данных не требует никакого дополнительного экспорта измерений в полевых условиях и обеспечивает отправку данных в офис по сети Интернет для камеральной обработки сразу после выполнения измерений. В каждой папке, соответствующей измерению, содержатся 7 файлов с результатами измерений и сгенерированными на их основе отчетами. Для формирования документов используется генератор отчетов FreeReport и библиотека PowerPdf (распространяются под условием лицензии LGPL) в варианте, поддерживающим использование кириллических символов.

Описание файлов и их содержание.

- файл .xml с полной информацией об измерении. Файл создается, как только запускается процесс измерения при полевых испытаниях, и в дальнейшем дополняется данными геолого-литологической колонки, расчетными данными с учетом влияния гидростатического давления, сохраняет данные при экстренном отключении оборудования.

- файл .log записи всех показателей, поступающих с прибора с частотой 2 значения в секунду.

- журнал полевых измерений .pdf создается, как только завершается процесс измерения при полевых испытаниях, и содержит таблицу с данными, полностью готов к печати.

- файл .pdf итоговых данных с учетом влияния гидростатического давления.

- файл .xml итоговых данных для экспорта в различные программы: Кредо Геология, EngGeo и другие.

- график .pdf испытания дилатометром совместно с геолого-литологической колонкой, готовый к печати.

- файл .csv используется при статистических расчетах среднего значения для инженерно-геологических элементов или анализа данных в динамике при мониторингах.

На рис. 1 представлена структура файла с измерениями в базе данных.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-16"?>
<DILATOMETR>
  <x n="PARAMS">
    <x n="PARTY">
      <s n="ORG" v="ООО "НИЦа""/>
      <s n="NACHPART" v="Манучерьян А.А."/>
      <s n="GLGEOLOG" v="Самусева Н.В."/>
    </x>
    <x n="DEVICE">
      <s n="DILATID" v="456"/>
      <s n="DILATVERIFYDATE" v="12.07.17"/>
      <s n="DILATCOEF" v="72.2"/>
    </x>
    <x n="OBJECT">
      <s n="CODE" v="45-17"/>
      <s n="OBJECT" v="| ул.Сухарн">
    </x>
    <x n="MEASURE">
      <s n="MEASURE" v="1589"/>
      <s n="DEPTHSTART" v="1.6"/>
      <s n="DEPTHSTEP" v="0.20"/>
      <s n="STABILSTEP" v="1"/>
      <s n="ELEVATION" v="124.75"/>
      <s n="ELEVATIONWELL" v="124.75"/>
      <s n="TIMESTART" v="2017.08.28 09:28:56"/>
      <s n="TIMESTOP" v="2017.08.28 09:32:57"/>
      <i n="RESULT" v="0"/>
      <s n="COMMENT" v=""/>
    </x>
    <x n="GROUNDWATER">
      <s n="GROUNDWATERDEPTH" v="8.5"/>
      <s n="GROUNDWATERDATE" v="15.08.17"/>
    </x>
  </x>
  <x n="MEASURE">
    <i n="START" v="1"/>
    <d n="DEPTH" v="1.6"/>
    <d n="MEASURE" v="6.514"/>
    <d n="PRESSURE" v="6.514"/>
    <s n="TIME" v="00:00:05"/>
  </x>
  <x n="2">
    <x n="6">
      <d n="DEPTH" v="2.6"/>
      <d n="MEASURE" v="6.277"/>
      <d n="PRESSURE" v="6.277"/>
      <s n="TIME" v="00:00:12"/>
    </x>
    <x n="1">
      <d n="MEASURE" v="5.366"/>
      <d n="PRESSURE" v="5.366"/>
      <s n="TIME" v="00:00:14"/>
    </x>
    <x n="2">
      <d n="MEASURE" v="4.822"/>
      <d n="PRESSURE" v="4.822"/>
      <s n="TIME" v="00:00:16"/>
    </x>
    <x n="3">
      <d n="MEASURE" v="4.55"/>
      <d n="PRESSURE" v="4.55"/>
      <s n="TIME" v="00:00:18"/>
    </x>
    <x n="4">
      <d n="MEASURE" v="4.426"/>
      <d n="PRESSURE" v="4.426"/>
      <s n="TIME" v="00:00:20"/>
    </x>
    <d n="STABILDELTA" v="1.97538972025091"/>
    <d n="STABILGAMMA" v="0.357789444189642"/>
    <d n="KRELAX" v="0.685297161024229"/>
    <d n="SIMSTABILDELTA" v="2"/>
    <d n="SIMSTABILGAMMA" v="0.3333333333333333"/>
  </x>
  <x n="7">

```

Рис. 1 Структура .xml файла

### *Заключение*

Разработка программного комплекса позволила автоматизировать процессы получения данных полевых исследований грунтов и формирования отчетной документации. Дальнейшее развитие программного комплекса планируется в следующих направлениях:

- подключение блока ФО-5 (ООО «Геотест», г. Екатеринбург) который измеряет глубину погружения колонны штанг и формирует команды на запись данных контроллером с шагом 2,5, 5 или 10 см, что позволит обеспечить точность отсчетов, требуемую согласно ГОСТ 19912–2012, Изменение №1 от 01.09.2019, и снизить трудоемкость испытаний;
- подключение ГНСС модуля для снятия текущих координат установки статического зондирования, что не исключит выезда специалиста с геодезическим оборудованием для выноса точек или съемки пикетов на месте испытаний, но позволит получить дополнительный контроль позиционирования установки.

### *Благодарности*

Выражаем благодарность ООО «Новосибирский инженерный центр» и директору Лаврову С. Н. за внедрение инновационных полевых методов исследований искусственных грунтовых сооружений, грунтов и финансирование исследований, СРО «КубаньСтройИзыскания» за разработку и содействие в регистрации Национального стандарта ГОСТ Р 58270-2018 «Грунты. Метод испытаний расклинивающим дилатометром».

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Писарев В. С. Исследование развития контура провала в районе горы Буланже // Вестн. СГУГиТ. – 2021. – Т. 26. – № 2. – С. 28 – 36.

2. ГОСТ Р 55260.1.4-2012 Гидроэлектростанции. Часть 1-4. Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по организации и проведению мониторинга – Текст: электронный // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. – URL: docs.cntd.ru/document-/1200103581?ysclid=lhqxd7n3b183729928.

3. Писарев В.С. Маркшейдерско-геодезические работы при создании геодинамических полигонов // Маркшейдерия и недропользование. 2020. № 2 (106). С. 35-40.

4. ГОСТ Р 58270-2018 «Грунты. Метод испытаний расклинивающим дилатометром» – Текст: непосредственный. // Стандартиформ, – Москва. – 2018. – с.11.

5. С.Н. Лавров, Л.В. Нуждин. Сравнительный анализ результатов исследований дилатометром РД-100 с традиционными способами определения модуля деформации грунтов. Известия ВУЗов. Строительство. № 7, - 2011. – С. 108 - 115.

© А. В. Владыкина, В. Н. Никитин, В. С. Писарев, 2023