

УДК 519.254:625.736

ОБЪЕКТНО-АССОЦИАТИВНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ

*канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ, канд. техн. наук, доц. А.П. КРЕМНЕВ, Т.М. ГЛУХОВА
(Полоцкий государственный университет)*

Представлен объектно-ассоциативный подход к организации сложноструктурированных данных, позволяющий реализовать эффективные алгоритмы расчета и визуализации результатов расчета геометрических задач. В данной работе построена объектно-ассоциативная система для организации манипулирования и визуализации данных задачи расчета устойчивости откосов. Показаны преимущества данной системы по сравнению с другими системами организации сложноструктурированных данных на основе сравнения возможностей программ расчета устойчивости откосов с программой, разработанной на основе объектно-ассоциативного подхода.

Объектно-ассоциативная система (ОАС), разработанная в Полоцком государственном университете, применяется для организации хранения и манипулирования сложноструктурированными данными.

В работах [1] и [2] определена концепция и особенности объектно-ассоциативных систем, которые в первую очередь заключаются в следующих концептуальных отличиях от традиционных систем представления данных (реляционной, объектно-ориентированной): ОАС не ограничивает абстрактную типизацию сущностей набором абстракций, определяемых архитектором на стадии проектирования и разработки программного обеспечения (ПО); ОАС исходит из тезиса о потенциально неограниченном разнообразии объектов в системе, связанных различными ассоциативными связями; ОАС предлагает гибкие визуальные инструменты формирования ОАБД, в том числе и на этапе эксплуатации ПО.

Объектно-ассоциативная система выделяет два уровня представления данных: уровень множества объектов и уровень множества представлений объектов. Под объектом в контексте ОАС понимается как простое свойство, так и сложное дерево, состоящее из простых объектов и поддеревьев. Уровень представлений обеспечивает отображение объектов на «листах» программы, по сути, представляя механизм интерпретации объектов в семантическом пространстве конкретной прикладной задачи.

Идеи объектно-ассоциативной модели могут быть реализованы в рамках различных формализаций. Полоцкий государственный университет развивает собственный инструментарий, ориентированный на создание сложных пользовательских интерфейсов для наукоемкого ПО: схемные интерфейсы, графические базы данных, геоинформационные системы и т.п.

Предлагаем одну из возможных формализаций, позволяющую достичь заявленных целей.

Рассмотрим ее подробнее.

Одна из возможных формализаций ОАС

Фактически в рамках объектно-ассоциативного подхода мы декларируем существование универсального множества объектов O . Причем под объектом будем понимать не только сущности, выявляемые при информационном анализе предметной среды, но и любые единичные свойства. Объекты-свойства – это несоставные «терминальные» объекты. Мы говорим: «объект обладает свойствами», – фактически отражая тот факт, что объект в нашем представлении есть совокупность объектов-свойств, обладающих тривиальными смыслами. Объекта как такового не существует, существует совокупность свойств, в своей целостности, представляющая новый смысл и, соответственно, способная участвовать в качественно новых связях-ассоциациях.

Множеству объектов сопоставляется множество смыслов (интерпретаций) E :

O – множество объектов;

E – множество смыслов (интерпретаций).

Введем еще одно формальное определение – множество представлений L . Это фактически формализации неких срезов, инструментов оперирования информацией (форм, схем, карт), через которые мы видим, воспринимаем информацию;

L – множество разметки.

Эта тройка, как было уже отмечено выше, в первом приближении может быть использована для иллюстрации реализации предложенной идеи в ПО.

Ранее мы предлагали формализацию объектно-ассоциативной системы ОАС, построенной на одном фундаментальном отношении агрегации. Рассмотрим ее более подробно.

Универсальным способом представления значений будем рассматривать строковое представление. Для алфавита char множество допустимых строк – цепочек символов – будем обозначать как char^* .

Такая нотация употребляется в теории формальных грамматик и, кроме этого, хорошо понятна программистам, работающим на языке C++.

Для определения доступа к элементам множеств будем использовать точечный оператор:

$$o.a : a \in o$$

Определение объекта

Каждый объект универсального множества объектов является сложным по своей структуре, и для реализации сформулированных принципов объектно-ассоциативного подхода он может быть представлен в следующей конфигурации:

$$o = \langle value, interpretation, parent \rangle$$

Введем соответствующие операторы отношений.

Уровни представления ассоциативной системы объектов

Будем рассматривать ассоциативную систему объектов на трех уровнях представления:

- 1) интерфейсное представление в виде совокупности подмножеств разметки;
- 2) объектное представление с отношением агрегации на множестве объектов;
- 3) смысловое представление или интерпретация в пространстве смыслов EXPLAIN.

Определение агрегации

Объекты могут связываться отношением агрегации.

Если объект o_1 входит в объект o_2 , то

$$o_1.parent = o_2$$

Или будем записывать

$$o_2 = parentOf\ o_1,$$

$$o_1 \in childrenOf\ o_2$$

Определение интерпретации

Смысловое окрашивание объекта в рамках некоторой предметной области есть его интерпретация. Множество допустимых интерпретаций E . Одним и тем же смыслом могут обладать разные объекты. Объект не может быть двусмысленным. Интерпретация свойственна всем объектам и

$$o.interpretation \in char^*$$

Введем оператор интерпретации:

$$explain\ o = o.interpretation$$

Определение подмножества разметки

Объекты могут быть сгруппированы в подмножества разметки. Подмножеством разметки будем называть некоторое произвольное подмножество объектов, сформированное по некоторому смысловому признаку – ассоциации. Определять подмножества можно по своему усмотрению. Примером подмножества разметки будет являться набор объектов значений, на наш взгляд, необходимый для определения абстракции. В зависимости от признака выделения подмножества можно рассмотреть 3 типа подмножеств разметки:

- 1) некоторое произвольное подмножество L ;
- 2) подмножество объектов, объединенных тем, что они все являются агрегированными в один и тот же родительский объект $o - L\ o$;
- 3) подмножество объектов, ассоциированных с некоторой интерпретацией $L\ e, e \in E$.

Подмножества разметки могут пересекаться, быть равными, не пересекаться, но их объединение всегда равно универсальному множеству объектов. Иными словами, любой объект всегда принадлежит некоторому множеству разметки, но он также может принадлежать и нескольким различным подмножествам одновременно.

$$\bigcup_i L_i = o.$$

Подмножества разметки выступают в качестве тех «страниц», через которые мы воспринимаем систему объектов. Они выступают интерфейсными составляющими системы.

Поскольку разметка системы объектов допускает формирование новых групп объектов на уже существующем множестве данных, то именно разметка может служить средством формулировки абстракций.

Определение значения

Значением объекта является цепочка символов, в силу своей универсальности:

$$o.value \in char^*, \text{ или в операторной форме } valueOf\ o = \omega \in char^*.$$

Определение свойства

Таким образом, объект обладает свойствами, которые выражаются агрегированными в нем значениями. Мы будем говорить о некотором подмножестве свойств объекта, если некоторое подмножество агрегированных в нем значений принадлежит одному подмножеству разметки. Если это подмножество

разметки содержит только агрегированные объекты объекта o , то будем отражать это в виде $L o$. Если некоторое подмножество разметки содержит только агрегированные объекты объекта o , все такие объекты мы будем записывать как $L_{\Sigma} o$.

$$\bigcup_i L_i o = L_{\Sigma} o,$$

хотя для дальнейших рассуждений необязательно рассматривать исключительно полные наборы свойств.

Определение подобия подмножеств разметки

Два объекта, не агрегирующие другие объекты, подобны, если

$$o_1 \sim o_2 : \begin{matrix} explain\ o_1 = explain\ o_2 & \text{и} \\ L\ explain\ o_1 = L\ explain\ o_2 & . \end{matrix} \quad (1)$$

Опираясь на определение подобия объектов-свойств (1), можем определить, что два подмножества разметки подобны в том и только в том случае, если

$$L_1 \sim L_2 : |L_1| = |L_2| \quad \text{и} \quad \forall o_i \in L_1 \quad \exists! o_j \in L_2, o_i \sim o_j. \quad (2)$$

Используя (2), определим, что два объекта, содержащие агрегированные объекты, подобны, если

$$o_1 \sim o_2 : \begin{matrix} explain\ o_1 = explain\ o_2 & \text{и} \\ L\ explain\ o_1 = L\ explain\ o_2 & \text{и} \\ L\ o_1 \sim L\ o_2 \end{matrix} \quad (3)$$

Данное определение рекурсивно.

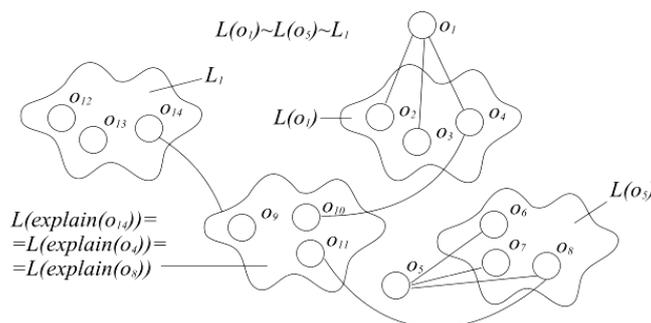


Рис. 1. Отношение подобия на подмножествах разметки

Подобие множеств разметки является ограничительным отношением в силу своей симметричности. Однако на его основе введем менее ограничительное отношение включения подобия:

Множество разметки L_1 включает подобие множества разметки L_2 в том и только том случае, если

$$L_1 \supseteq L_2 : \forall o_i \in L_2 \exists! o_j \in L_1, o_i \sim o_j. \quad (4)$$

Основным отличием определения (4) от определения (2) является отсутствие ограничения на равенство мощностей множеств. То есть множество L_1 может содержать, помимо объектов, подобных в смысле (3) объектам множества L_2 , объекты, никоим образом не относящиеся к множеству L_2 .

Классификация

Подмножества разметки с определенным на них отношением подобия и включения подобия являются простейшим способом формулирования абстракций на множестве объектов. Если объект имеет свойства, будем иметь в виду, что возможно сформировать подмножество разметки такое, что подмножество разметки свойств объекта будет обладать подобием ему или включать его подобие.

Иными словами, мы выделим тип объекта в виде отдельного подмножества. Отношение подобия установит сходство объектов по наличию у них сходного состава свойств и выступит инструментом классификации. Тогда классом C объектов системы, заданным некоторым множеством разметки L , будет множество объектов, обладающих свойством:

$$C L = o_i \mid \forall o_i \in C L \quad L\ o_i \supseteq L. \quad (6)$$

Говорить о том, что мы, обладая инструментом классификации, предложим язык манипулирования данными в такой ассоциативной среде, еще рано. И тем более рано говорить об эффективных реализациях операций над динамическими классами. Однако необходимо подчеркнуть, что классы, которые появились как вторичный продукт на множестве объектов, могут естественным образом эксплуатировать реляционную алгебру и реляционное исчисление как готовый, хорошо изученный математический аппарат манипулирования данными.

Чтобы ощутить все удобства эксплуатации объектно-ассоциативной модели данных, можно рассмотреть наиболее характерные области применения этого подхода в рамках разработанной в Полоцком государственном университете ОАС NormPro.

Рассмотрим возможности ОАС при разработке ПО расчета устойчивости откосов.

Особенностью данного класса задач являются:

- 1) сложноструктурированные данные о геометрии разреза, свойствах грунтов, расположение дисперсионной кривой и линии водонапора;
- 2) сложные и ресурсоемкие геометрические преобразования на исходных данных (сечение разреза круглоцилиндрической поверхностью скольжения с определением геометрических и физических свойств элементарных блоков);
- 3) расчет коэффициента устойчивости с учетом фильтрационных сил по полученным геометрическим сечениям разреза круглоцилиндрическими поверхностями скольжения;
- 4) реализация итерационного процесса поиска наиболее опасной (или нескольких) поверхности скольжения;
- 5) параметрическая визуализация результатов расчета в виде поля поверхностей скольжения, эпюры давлений расчетной схемы.

Такие требования к ПО расчета устойчивости откосов полностью соответствуют концептуальным возможностям ОАС, в которой отображение сложноструктурированных данных выполняется на множестве представлений (схема, поле, эпюра).

Реализация данных требований в рамках иных подходов требует серьезной проектной проработки и выработки механизмов, которые являются естественными с точки зрения ОАС.

На рынке присутствует целый ряд программных продуктов для расчета устойчивости откосов. Наиболее известными являются [3]:

- программа GeoStab программного комплекса для геотехнических расчетов фирмы ООО «Инж-ПроектСтрой» (Россия);
- программа ОТКОС компании КРЕДО-ДИАЛОГ (Россия, Беларусь);
- программа GEO5 компании Fine (Чехия);
- программа ОТКОС программного комплекса SCAD-Soft (Украина).

Реализуемые в них алгоритмы поиска и визуализации наиболее опасной поверхности скольжения анализируются в таблице.

Наименование программы	Метод расчета	Параметризация и особенности визуализации
GeoStab, ООО «ИнжПроектСтрой»	- метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, перебор поверхностей с заданным шагом; - метод касательных сил (для призм с произвольной поверхностью скольжения) Полный перебор по сетке возможных границ начал и концов оползня	Результат расчета отображается в виде наслоения окружностей. Трудно воспринимаемая визуализация при отображении всех призм, без возможности получения параметризации визуализации [4]
ОТКОС, КРЕДО-ДИАЛОГ	- метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения Осуществляется построение начальной кривой скольжения по методу Феллениуса и поиск опасной кривой скольжения методом поординатного спуска	Результат расчета представлен в таблицах исходных данных и результатов в формате HTML; Графически результаты анализа и расчета представлены в виде чертежей [8]
GEO5, Fine	- метод круглоцилиндрических и полигональных поверхностей скольжения	Визуализация результатов расчета ограничивает отображением наиболее опасной кривой поверхности скольжения [9]
ОТКОС, SCAD-Soft	- метод переменной степени мобилизации сопротивления сдвигу (МПСМ) [5, 6] Перебор возможных границ начал и концов оползня с заданными оператором ограничениями	Результат расчета представлен в виде найденной единственной поверхности скольжения на чертеже разреза [7]

Объектно-ассоциативная модель данных, реализованная в рамках универсального инструментария NormPro, позволила с минимальными затратами построить интерфейс для формирования расчетной схемы откоса, как показано на рисунке 2.

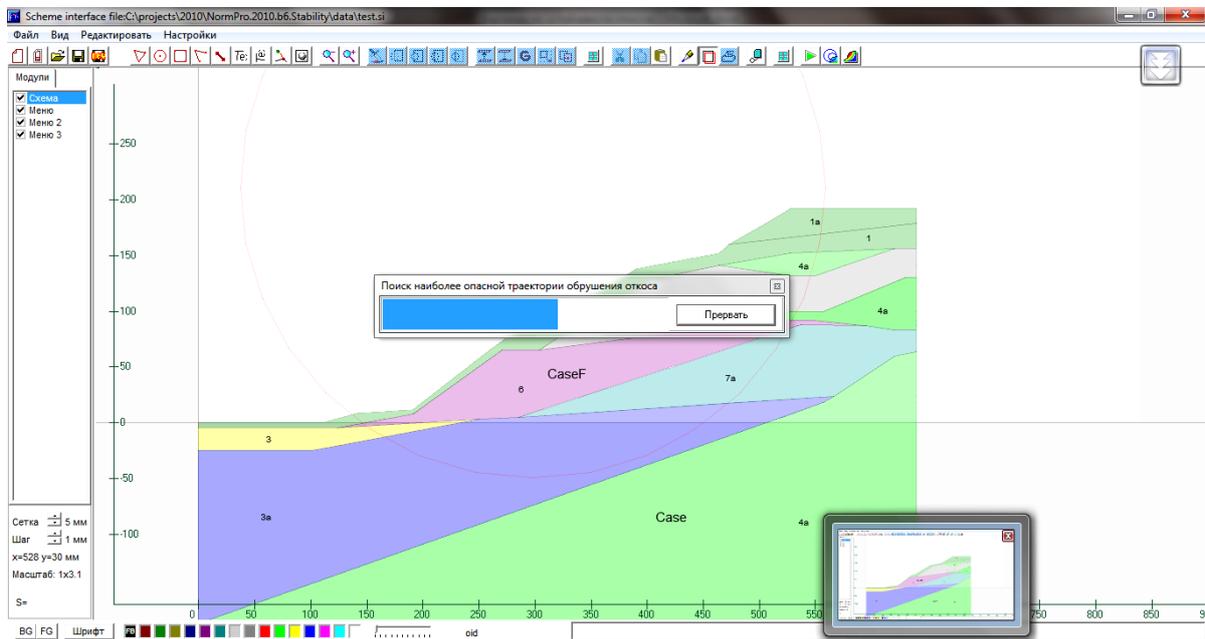


Рис. 2. Интерфейс программы расчета устойчивости откосов, построенной в рамках ОАС

На рисунке 3 показан результат решения геометрической задачи сечения разреза откоса с разбиением сечения на блоки. Поскольку алгоритм решения геометрической задачи оперирует с элементами представления ОАС, сразу получаем готовую объектную систему для выполнения расчета коэффициента устойчивости и получаем возможность программной визуализации любой стадии расчета в виде нового представления.

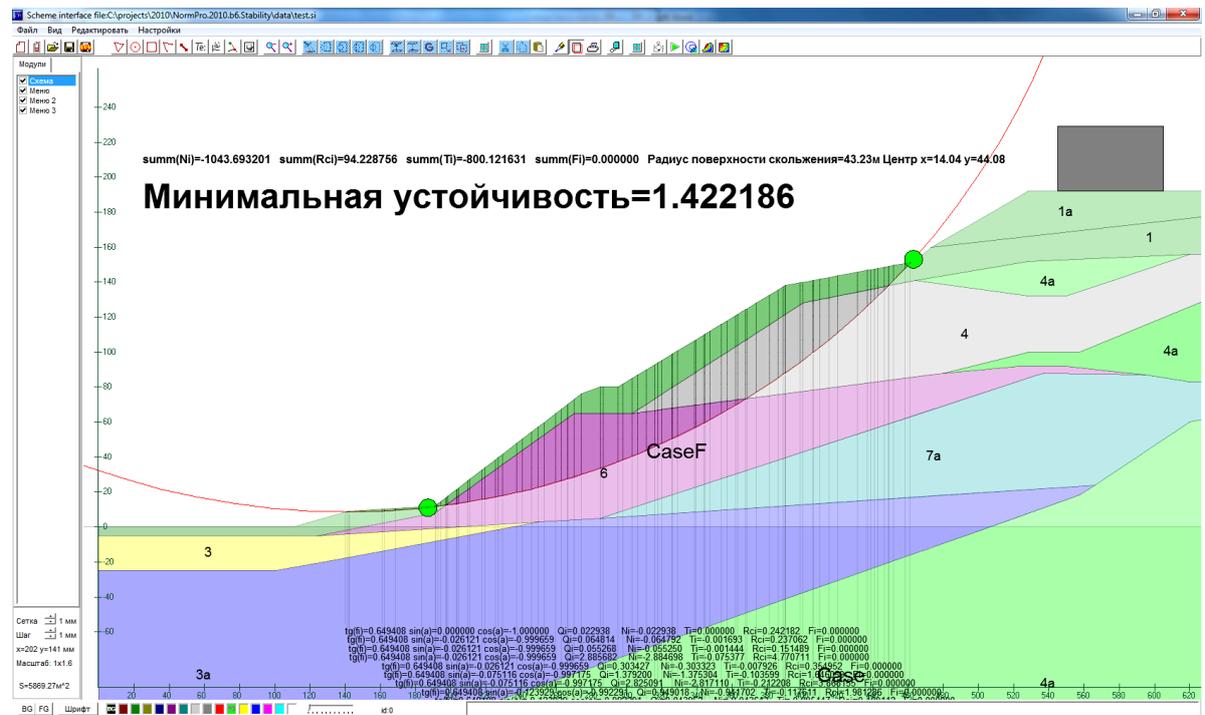


Рис. 3. Сечения разреза откоса с круглоцилиндрической поверхностью скольжения с формированием трапециевидных блоков разных пластов грунта

Процесс поиска наиболее опасной поверхности сопровождается наглядной анимацией, что позволяет говорить о применимости данного ПО и в учебных целях.

Результат расчета (рис. 4) визуализируется в виде поля опасных поверхностей скольжения как представление, полученное при логической компоновке расчетной схемы и множества найденных объектов-поверхностей скольжения. При выполнении расчета выполняется перебор 6 000 возможных поверхностей, поэтому при варьировании прозрачности элементов на представлении мы имеем возможность получить эффект сглаживания изображения поля (рис. 5).

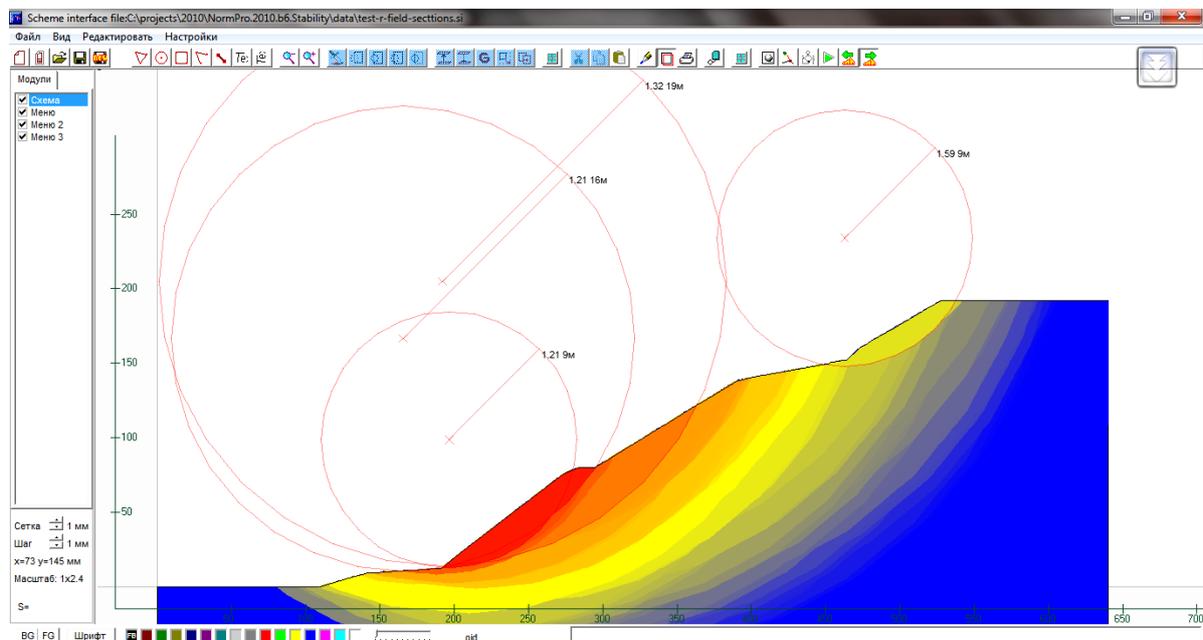


Рис. 4. Визуализация результата расчета с двумя опасными областями

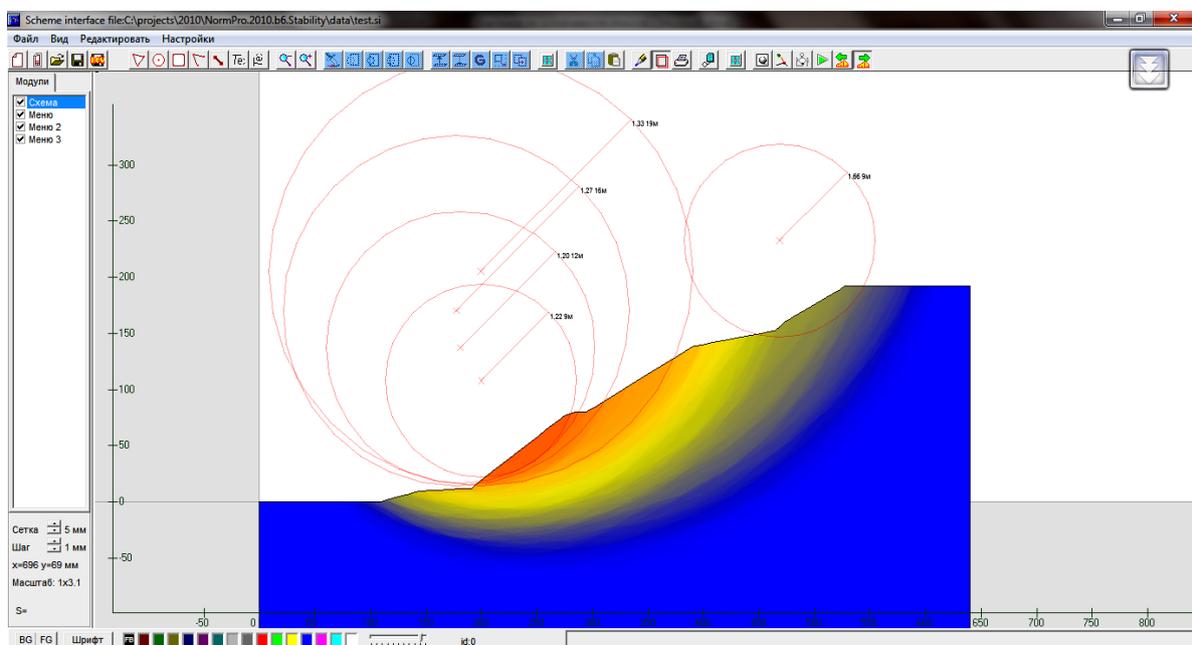


Рис. 5. Возможность «сглаживания» с применением прозрачности

Проектирование ПО на основе объектно-ассоциативного подхода дает гибкий инструмент для легкого манипулирования и отображения сложноструктурированных данных.

На рисунке 6 приведен пример моделирования статического воздействия на откос грузом разного веса.

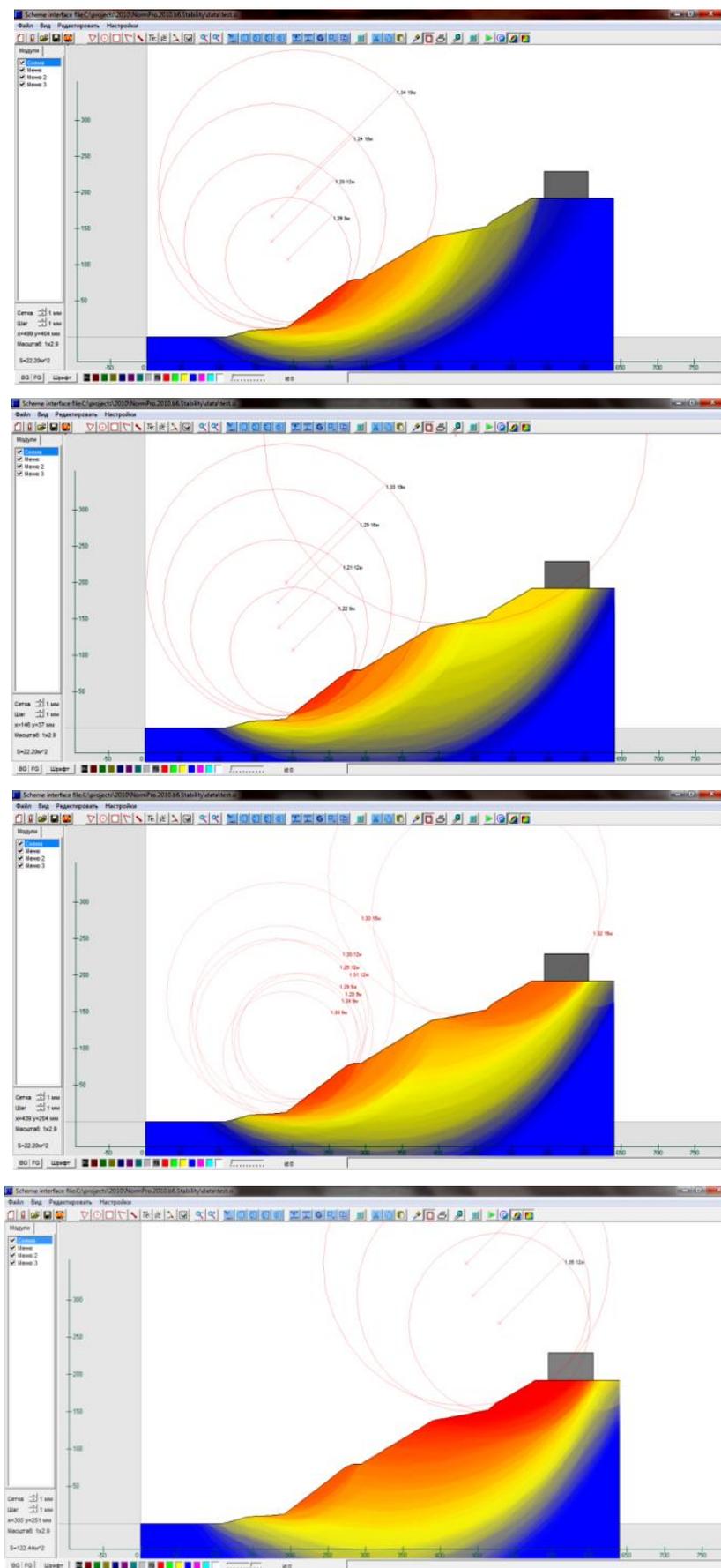


Рис. 6. Моделирование нагрузки на откос блоком с заданной плотностью

Рисунок 7 иллюстрирует результат расчета при различном положении воздействия.

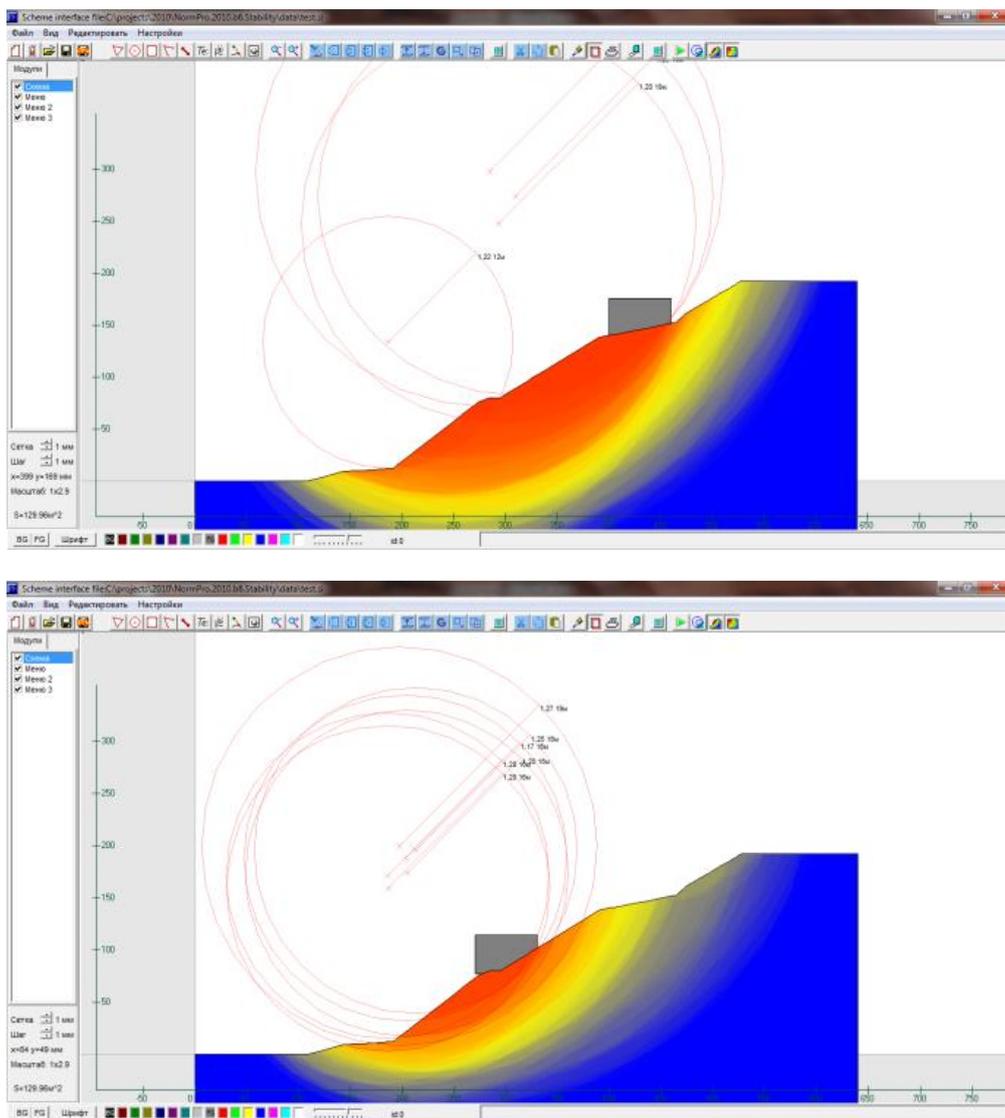


Рис. 7. Влияние нагрузки в зависимости от места ее приложения

Заключение

Объектно-ассоциативная система является универсальным инструментом для создания наукоемкого ПО, оперирующего сложноструктурированными данными и требующего качественных способов визуализации результатов научных расчетов.

Разработка Полоцким государственным университетом ПО расчета устойчивости откосов с применением ОАС показала значительное снижение затрат на проектирование и разработку ПО в связи с эксплуатацией готового механизма манипулирования и визуализации сложноструктурированных данных.

Обеспечена гибкость системы с точки зрения дальнейшей расширяемости. Последнее утверждение основано на концептуальном требовании к ОАС для создания базы данных в условиях начальной неопределенности относительно многообразия объектов в системе, отсутствия полных спецификаций объектов и возможных связей между объектами. В связи с тем, что именно такая неопределенность стала ключевым мотивом разработки объектно-ассоциативной системы, эта модель позволяет расширять и обогащать систему во время эксплуатации без ущерба для данных, которые в ней хранятся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов, Д.О. Концепция объектно-ассоциативной базы данных / Д.О. Глухов, А.В. Пранович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Фундаментальные науки. – 2005. – № 4. – С. 55 – 63.

2. Глухов, Д.О. Объектно-ассоциативный подход к представлению информации / Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2010. – № 9.
3. Малинин, А.Г. Программные средства для геотехнических расчетов / А.Г. Малинин, А.П. Малинин, С.А. Чернопазов // Жилищное строительство. – 2009. – № 2. – С. 2 – 3.
4. GeoStab – Расчет устойчивости откосов и котлованов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geo-soft.ru/geostab/>.
5. Федоровский, В.Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов / В.Г. Федоровский, С.В. Курилло // Геоэкология. – 1997. – № 6. – С. 95 – 106.
6. Федоровский, В.Г. Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов / В.Г. Федоровский, С.В. Курилло // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1998. – № 4 – 5. – С. 18 – 22.
7. Перельмутер, М.А. «Откос». Анализ устойчивости откосов и склонов / М.А. Перельмутер, В.Г. Федоровский // Руководство Пользователя. Версия 1.5: SCAD Soft, 2007.
8. ОТКОС 2.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.softservice-kmv.ru/software/cad/Kredo/Kredo_1056.html.
9. Расчет устойчивости откоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.finesoftware.ru/geo-technical-software/slope-stability/>.

Поступила 16.02.2011

**OBJECT-ASSOCIATIVE APPROACH
TO THE CONSTRUCTION OF AN ALGORITHM CALCULATION AND VISUALIZATION
OF CYLINDRICAL SLIP SURFACE IN CALCULATIONS OF SLOPE STABILITY**

D. HLUKHAU, A. KREMNEV, T. HLUKHAVA

Object-associative approach to organization of complex data, developed in Polotsk State University, allows to implement efficient algorithms for calculation and visualization of complex geometrical problems. In this paper, we construct an object-associative system for data organizing which allows to manipulate and visualize data of calculating stability of slopes. We shows the advantages of this system compared with other systems of complex data organization based on a comparison of software features for calculating stability of slopes with a program developed based on object-associative approach.