

Е.Н. Грищенко, М.Г. Мустафин

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ 3DS MAX

Проведен анализ процесса сдвижения земной поверхности на основании результатов инструментальных наблюдений, проводимых в рамках периодического мониторинга подрабатываемых территорий. Содержится анализ разработок последних лет, включающий исследования с использованием 3ds Max в областях геомеханики, маркшейдерского дела, геодезии, архитектуры, гражданского и гидротехнического строительства. Перечислены этапы разработки программного средства, включающие создание анимированного представления и получение готового изображения по 3D-модели местности. Включены изображения пространственных построений в 3ds Max на разных этапах создаваемой анимации. Приведены выводы с описанием возможностей используемого программного обеспечения и разрабатываемого инструментального средства.

Ключевые слова: сдвижение земной поверхности, подработка, муфта сдвижения, наблюдения за деформациями, динамическая цифровая модель рельефа, логистическая функция, 3ds Max, MAXScript, анимация.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-36-41

На территории России расположено несколько крупных угледобывающих регионов, актуальной проблемой которых является сдвижение земной поверхности. Процесс сдвижения, возникающий вследствие горных работ, вызывает деформации земной поверхности, которые в свою очередь могут привести к деформациям объектов (зданий, сооружений и природных объектов), находящихся на территории подработки. В связи с этим в систематическом порядке проводится мониторинг подрабатываемой территории с целью определения величин деформаций и установления необходимости применения мер защиты объектов.

«Инструкцией по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых ме-

сторождениях» [1] закреплена методика инструментальных наблюдений, основанная на использовании оптико-механического оборудования. Ввиду некоторых недостатков традиционной технологии, среди которых существенная трудоемкость измерений и проведение мониторинга лишь по профильным линиям реперов, наблюдается тенденция перехода к электронному оборудованию. Применение электронных тахеометров, лазерных сканирующих систем и GNSS-приемников позволяет с высокой скоростью проводить съемку и обработку результатов, а также впоследствии формировать динамические цифровые модели рельефа и наглядно визуализировать результаты наблюдений [2, 3].

Для получения пространственной картины сдвижения классические инстру-

ментальные наблюдения реперов профильных линий могут быть дополнены площадными съемками мультиспектральной съемки. По результатам нескольких съемок обрабатываемой территории могут быть составлены динамические цифровые модели рельефа (ДЦМР), позволяющие оценить и проанализировать динамику нарастания деформаций.

Современные программные продукты позволяют автоматизировать построение ДЦМР, а также создавать специальные инструменты для последующей обработки результатов съемок. В частности, программный продукт для трехмерного моделирования Autodesk 3ds Max дает возможность визуализировать деформации земной поверхности на территории мультиспектральной съемки в трехмерном виде. Процесс нарастания деформаций может быть описан в среде 3ds Max посредством встроенного скриптового языка MAXScript.

Вышеописанные программные средства успешно применяются в геодезии и архитектуре при построении 3D-моделей историко-культурного наследия [4], а также с целью моделирования объектов и производственных процессов в областях гражданской и экологической инженерии [5], гидротехнического и дорожно-мостового строительства [6].

Что же касается альтернативных вариантов анализа и визуализации данных в области геодинамики и геодезии, авторами статьи [7] используются программные возможности среды MATLAB для создания модели прогнозирования оседаний земной поверхности на обрабатываемой территории. Их коллеги в статье [8] описывают также разработанный в MATLAB программный комплекс для визуального отображения стратиграфии и структурного картирования.

Цель работы: создание инструмента пространственной анимированной визуализации деформирования земной по-

верхности в ходе подработки с помощью 3ds Max.

Встроенные возможности 3ds Max позволяют использовать его в рамках решения многих производственных задач, в том числе при изучении геомеханических процессов, возникающих при проведении горных работ.

Для визуального представления результатов сдвижения земной поверхности будет использован встроенный язык MAXScript, позволяющий автоматизировать необходимые построения и последующую анимацию. С его помощью производятся создание и модификация трехмерных объектов, а также специальных инструментов для работы в среде.

При разработке программы было поставлено несколько задач:

- формирование файлов исходных данных;
- загрузка и обработка исходных данных;
- отрисовка поверхности по данным цифровой модели местности;
- создание анимации с учетом временных параметров процесса сдвижения;
- получение готового изображения по 3D-модели рельефа (рендеринг).

В качестве исходных данных в разработанной программе используются таблицы координат, заполняемые в Microsoft Excel. Файлы содержат списки точек моделей, записанных по порядку (последовательно по рядам), завершаемые строкой с количеством четырехугольников в двух перпендикулярных направлениях — общий вид модели представляет собой регулярную сетку. Для работы программы необходимо два файла: состояние земной поверхности на момент начала и конца процесса сдвижения.

Загрузка исходных данных осуществляется путем обращения к каждому из файлов, расположенных в определенной директории, указанной в коде. Обработка загруженных данных включает

подсчет точек, заполнение массивов координат и определение вида цифровой модели по количеству четырехугольников в двух направлениях.

Отрисовка поверхности по цифровой модели выполняется путем создания в цикле полигонов Editable_Poly, что включает задание для каждого из них вершин и составление из них одной фигуры (четырёхугольника).

Работа по созданию анимации заключается в установке слайдера времени на определенный момент и указании местоположения для каждого объекта в этот момент [11].

Важным аспектом построения анимации является учет неравномерности деформирования земной поверхности по времени в ходе процесса сдвижения. Процесс сдвижения имеет три основные стадии: начальную, активную и стадию затухания. Проф. Н.Н. Грищенко в статье [9] указывает, что усредненные значения продолжительности и величины оседания на каждой стадии были получены из результатов многочисленных наблюдений за динамикой сдвижения земной поверхности, и могут быть в общем виде описаны математическими функциями; в частности, в данном случае применяется логистическая функция (рис. 1). Также использование логистической функции для решения подобной задачи (прогноз оседаний земной поверхности) описано авторами в статье [10].

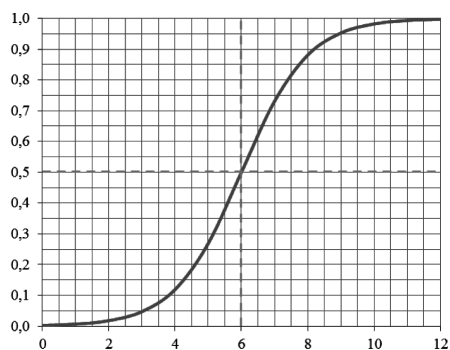


Рис. 1. Вид логистической функции

На основании этого можно сделать вывод о несоответствии стандартных параметров анимации 3ds Max реальному характеру процесса сдвижения. Для реалистичного отображения деформирования поверхности при формировании массивов координат были учтены коэффициенты, рассчитанные по логистической функции. Стандартная продолжительность анимации 3ds Max была увеличена втрое ($100f \rightarrow 300f$), и весь период процесса сдвижения разделен на 12 интервалов, для каждого из которых в соответствии с логистической функцией были определены коэффициенты деформирования, учитываемые при расчете величин деформации в ходе задания анимации. Таким образом, благодаря передвижению слайдера для вершин всех четырехугольников был запрограммирован специфический характер передвижения.

Последним этапом построения является объединение полигонов в один и

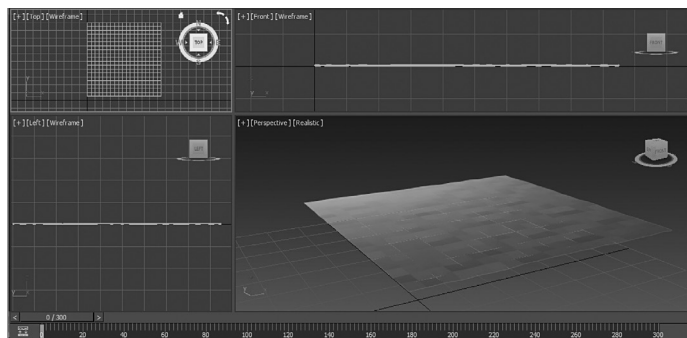


Рис. 2. Окно 3ds Max, результат построений (начало анимации)

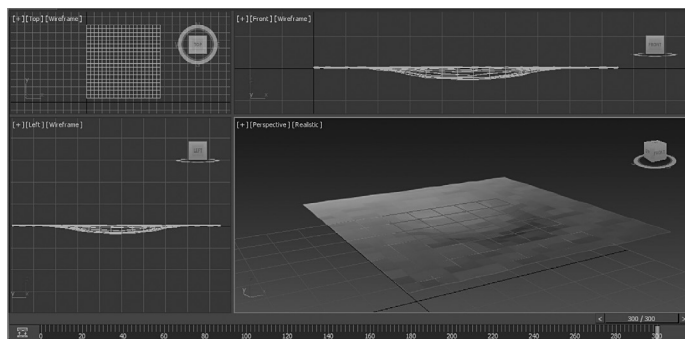


Рис. 3. Окно 3ds Max, результат построений (конец анимации)

тестирование анимации. Результат автоматизированных построений приведен на рис. 2, 3.

Финальный этап процесса визуализации включает установку источников света, создание материала, задание окружающей среды и рендеринг трехмерных объектов [12].

Источник света может быть выбран на панели Lights в зависимости от решаемой задачи (например, свободный или строго направленный на точку). В данном примере для более рельефного отображения земной поверхности был использован направленный источник света.

Создание материала (цвета, текстуры) объекта производится в редакторе Material Editor. Для создания реалистичного отображения земной поверхности был использован эффект «Noise» (сочетание и смещение тонов, цветовой «шум») с указанием цветов зеленых оттенков. Затем в редакторе Environment and Effects в

разделе Background был задан задний фон нейтрального цвета. Конечный результат работы программы и операций последующей обработки может быть отображен в ходе рендеринга (Render) (рис. 4).

Выводы

Разработка пользовательских инструментов в среде 3ds Max посредством скриптового языка MAXScript позволяет автоматизировать процесс построения динамических цифровых моделей рельефа и наглядно визуализировать процесс сдвижения земной поверхности.

Результат работы отличается высокой степенью реалистичности за счет ввода коэффициентов логистической функции, позволяющих с помощью программных средств смоделировать реальный геодинамический процесс. Дополнительная обработка полученных моделей дает возможность корректировки внешнего вида для имитации настоящих текстур.

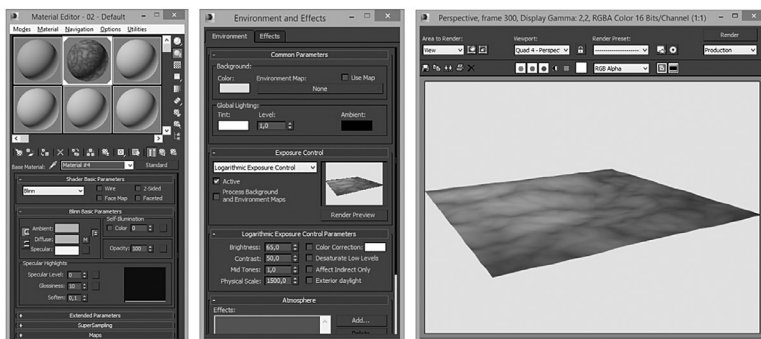


Рис. 4. Окна «Material Editor», «Environment and Effects», «Render»

Разработанный метод анализа нарастания деформаций может быть использован при решении задач, касающихся вре-

мени наступления опасных деформаций с целью заблаговременного принятия мер по защите подрабатываемых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях: Утв. Минуглепром СССР 30.12.87. — М.: Недра, 1989. — 96 с.
2. Грищенко Е. Н. Совершенствование технологии маркшейдерско-геодезических наблюдений за сдвигами и деформациями земной поверхности на территориях угольных шахт // Естественные и технические науки. — 2016. — № 5. — С. 66—70.
3. Grishchenkova E. Modern methods of geodetic monitoring of the earth surface displacement on undermined territories / Scientific Reports on resource issues. Vol. 1. TU Bergakademie Freiberg, 2016. — Pp. 78—81.
4. Chen M.-B., Yen Y.-N., Yang W.-B., Cheng H.-M. Developing the software toolkit on 3DS Max for 3D modeling of heritage / Advances in Intelligent and Soft Computing, 144 AISC. Vol. 1, 2012. — Pp. 503—508.
5. Han S. H., Al-Hussein M., Al-Jibouri S., Yu H. Automated post-simulation visualization of modular building production assembly line // Automation in Construction, 2012, 21 (1). — Pp. 229—236.
6. Wei L., Sun K., Zhang J., Wei Q. The application of structural engineering with 3DS Max-Script // Applied Mechanics and Materials, 2011, 99—100. — Pp. 1175—1181.
7. Ma C., Zhang Y., Ma Y. Visual simulation of surface subsidence at goaf area in coal mine / Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban) // Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2013, 32 (1). — Pp. 64—67.
8. Lee E. Y., Novotny J., Wagreich M. BasinVis 1.0: A MATLAB®-based program for sedimentary basin subsidence analysis and visualization // Computers and Geosciences, 2016, 91. — Pp. 119—127.
9. Грищенко Н. Н. Обоснование поэтапного применения мер защиты линейных инженерных коммуникаций на подрабатываемых участках // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Гірничо-геологічна. — 2012. — Вып. 16. — С. 3—11.
10. Wang J.-B., Liu X.-R., Huang Y.-X., Zhang X.-C. Prediction model of surface subsidence for salt rock storage based on logistic function // Geomechanics and Engineering, 2015, 9 (1). Pp. 25—37.
11. MAXScript Help: animate [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/MAXScript-Help/> (дата обращения 30.11.2016).
12. 3ds Max Help: Rendering [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/3ds-Max-Help/> (дата обращения 30.11.2016). **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Грищенко Екатерина Николаевна¹ — аспирант, e-mail: ekgr.mail@gmail.com,

Мустафин Мурат Газизович¹ — доктор технических наук,

зав. кафедрой, e-mail: mustafin_m@mail.ru,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 9, pp. 36—41.

UDC 622.1:622.834

E.N. Grishchenkova, M.G. Mustafin

SPATIAL VISUALIZATION OF DISPLACEMENT USING 3DSMAX APPARATUS

Article includes the analysis of the process of Earth surface displacement based on the results of instrumental observations conducted as part of periodic monitoring of undermined areas.

Briefly presented the instrumental base used in the process of monitoring that includes modern electronic equipment. Described the practical importance of the development of dynamic digital terrain models on the basis of systematic mine surveying. Showed the advantages of 3ds Max in the special field of three-dimensional modeling in mining and technical production, including graphic visualization of the Earth surface deformation on the undermined territories.

The article contains the analysis of developments in recent years, including studies using 3ds Max in the fields of rock mechanics, mine surveying, geodesy, architecture, civil and hydraulic engineering. Listed stages of tool development, including the creation of animated presentation and getting the finished image of the 3D terrain models. During the animation programming, paid special attention to the nature of the displacement process and its timing, expressed by a logistic function. This article includes images of spatial constructions in 3ds Max at various stages of animation created.

As a result the article presents the findings with the description of the software used and the tool developed. The advantage of the program is its highly realistic view due to the use of time parameters in the process of visualization, that were obtained as a result of numerous observations of Earth surface deformations. Described the prospects for the use of the finished application in scientific and industrial purposes.

Key words: Earth surface displacement, undermining, displacement trough, deformation monitoring, dynamic digital terrain model, logistic function, 3ds Max, MAXScript, animation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-36-41

AUTHORS

Grishchenkova E.N.¹, Graduate Student, e-mail: ekgr.mail@gmail.com,
Mustafin M.G.¹, Doctor of Technical Sciences, Head of Chair, e-mail: mustafin_m@mail.ru,
¹ Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. *Instruktsiya po nablyudeniym za sdvizheniem gornykh porod, zemnoy poverkhnosti i podrabatyvaemyimi sooruzheniyami na ugol'nykh i slantsevykh mestorozhdeniyakh*: Utverzhdena Minugleprom SSSR 30.12.87 (Manual observations of rock movement, the earth's surface and undermined structures in the coal and shale deposits: Approved by Ministry of coal industry of the USSR 30.12.87), Moscow, Nedra, 1989, 96 p.
2. Grishchenkova E. N. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2016, no 5, pp. 66–70.
3. Grishchenkova E. Modern methods of geodetic monitoring of the earth surface displacement on undermined territories. *Scientific Reports on resource issues*. Vol. 1. TU Bergakademie Freiberg, 2016, pp. 78–81.
4. Chen M.-B., Yen Y.-N., Yang W.-B., Cheng H.-M. Developing the software toolkit on 3DS Max for 3D modeling of heritage. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 144 AISC. Vol. 1, 2012, pp. 503–508.
5. Han S. H., Al-Hussein M., Al-Jibouri S., Yu H. Automated post-simulation visualization of modular building production assembly line. *Automation in Construction*, 2012, 21 (1). Pp. 229–236.
6. Wei L., Sun K., Zhang J., Wei Q. The application of structural engineering with 3DS MaxScript. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, 99–100, pp. 1175–1181.
7. Ma C., Zhang Y., Ma Y. Visual simulation of surface subsidence at goaf area in coal mine. Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, 2013, 32 (1), pp. 64–67.
8. Lee E. Y., Novotny J., Wagreich M. BasinVis 1.0: A MATLAB®-based program for sedimentary basin subsidence analysis and visualization. *Computers and Geosciences*, 2016, 91, pp. 119–127.
9. Grishchenkov N. N. *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Girnicho-geologichna*. 2012, issue 16, pp. 3–11.
10. Wang J.-B., Liu X.-R., Huang Y.-X., Zhang X.-C. Prediction model of surface subsidence for salt rock storage based on logistic function. *Geomechanics and Engineering*, 2015, 9 (1), pp. 25–37.
11. *MAXScript Help: animate*, available at: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/MAXScript-Help/> (accessed 30.11.2016).
12. *3ds Max Help: Rendering*, available at: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/3dsMax-Help/> (accessed 30.11.2016).