ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ DYNAMO В ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАБЛИЦЫ MICROSOFT EXCEL *

Н.Б. Колосова, В.В. Сергеев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
13 ноября 2020 г.

Дата принятия к печати
21 июня 2021 г.

Дата онлайн-размещения
9 июля 2021 г.

Ключевые слова

Аналитическая модель;
автоматизация; BIM; Dynamo;
Autodesk Revit; визуальное
программирование; нод;
Microsoft Excel

Аннотация

Строительные компании сталкиваются с препятствиями и проблемами при внедрении технологии информационного моделирования зданий, поскольку нет четких рекомендаций или исследований передовой практики, которые они могли бы изучить и использовать в своей деятельности. Одной из наиболее тяжелых и трудоемких задач при проектировании строительных объектов является подсчет объемов земляных работ, которые порой должны быть выполнены в сложных климатических условиях. В статье исследуется технология информационного моделирования зданий и разработки скрипта в среде визуального программирования, который позволит упростить данный трудоемкий процесс проектирования без потери его качества, экономя время для других задач. Разработанный скрипт можно использовать при подсчете земляных работ и исследовании их картограммы с целью минимизирования затрат на производство работ нулевого цикла путем проектирования отметок поверхности земли. Это может быть использовано в дорожном строительстве при прокладке наиболее экономически обоснованного маршрута дороги по критерию затрат на строительство. Применение разработанного скрипта значительно сократит время выполнения большого количества повторяющихся однотипных операций при разработке типовых объектов или построении сложной параметрической геометрии.

RESEARCHING TRANSFORMATION OF ANALYTICAL DATA OBTAINED FROM VISUAL PROGRAMMING SYSTEM «DYNAMO» INTO MICROSOFT EXCEL WORKSHEETS**

Natalya B. Kolosova, Vladislav V. Sergeev

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, the Russian Federation

Article info

Received
November 13, 2020

Accepted
June 21, 2021

Available online
July 9, 2021

Keywords

Analytical model; automation;
BIM; Dynamo; Autodesk Revit;
visual programming; Node;
Microsoft Excel

Abstract

Construction companies face barriers and challenges in adopting BIM, as there are no guidelines or best practices they could study and use in their activities. One of the most difficult and time-consuming tasks in designing construction projects is calculating the volume of earthworks, which sometimes has to be done in difficult climatic conditions. The article presents a study of using BIM technology and the development of a script in the visual programming environment «Dynamo», which will simplify this labour intensive process without losing its quality and saving time for other design tasks. The developed script can be used when calculating earthworks and studying their fill diagram in order to cut costs of performing initial construction works by designing marks on the Earth's surface. It can be used in

* Материалы обсуждены на XI Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», посвященной 45-летию ИргУПС и 90-летию БГУ, г. Иркутск, 11–13 ноября 2020 г.

**The paper was discussed at the 11th International Scientific and Practical Conference «Transport Infrastructure of Siberian Region» dedicated to the 45th anniversary of Irkutsk State Transport University and the 90th anniversary of Baikal State University, Irkutsk, November 11–13, 2020.

road building when plotting the most economically feasible route in terms of construction costs. The use of the developed script will significantly reduce the time of performing a big amount of same type repetitive operations when developing representative units or creating complex parametric geometry.

Введение

Технология информационного моделирования зданий (BIM) трансформирует парадигму строительной отрасли от системы чертежей на основе 2D к информационным системам на основе трехмерных объектов [1]. Нами были определены основные возможности и преимущества данных технологий, которые нашли свое отражение в таблице.

В ходе исследования мы определили, что для проектирования BIM-моделей, таких как офисные здания [5], больницы¹ и здания гражд-

¹HYLC Joint Venture. New Royal Adelaide Hospital: Building Information Modelling. URL: <https://www.designbuild-network.com/projects/new-royal-adelaide-hospital-australia>.

данского назначения, существует множество методик², книг [6] и статей [7; 8], описывающих работу в одном из самых востребованных продуктов для согласованного совместного BIM-проектирования — многопрофильном программном обеспечении Autodesk Revit.

В данном программном комплексе любая BIM-модель содержит как физическую (геометрическую), так и аналитическую модель, и они непосредственно связаны друг с другом. Физическое представление содержит стандартную геометрию и данные BIM.

²Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства: проектирование, строительство, эксплуатация. URL: http://autodesk-community.ru/upload/iblock/656/bim_brochure.pdf.

Возможности и преимущества технологий BIM

Вид деятельности	Возможности	Преимущества
3D-моделирование	Пользователь занимается непосредственно моделированием и оформлением чертежей. Процессы моделирования и формирования чертежей разделены	Практически отсутствует процедура черчения, которая используется только в исключительных случаях
Параметрическое моделирование	Имеется возможность динамического изменения параметров, влияющих на многообразные связи между объектами и элементами. Изменение одного параметра (элемента) автоматически влечет изменение характеристик и свойств объектов, где наблюдается наличие данного параметра	Значительная экономия времени и затрат на проектирование благодаря возможностям [2]
Работа с системами	Имеется возможность построения систем различного назначения (ОВК, трубопроводные, электрические системы с соответствующими параметрами и расчетами) и их объединения в одну BIM-модель	Это свойство позволяет производить расчетные операции более качественно, а также избегать пересечений различных инженерных систем друг с другом
Совместная работа	Имеется возможность проектирования объекта несколькими проектировщиками одновременно и сохранения результатов работы в одном файле	Это свойство позволяет проектировщикам различных направлений эффективно обмениваться информацией и взаимодействовать друг с другом, повышая общую производительность труда
Визуализация	Наличие системы рендеринга Mental ray обеспечивает высокое качество визуализации проекта, удобный интерфейс и высокую скорость проектирования	Визуализация обладает определенной степенью информативности и позволяет наиболее полно представить внешние характеристики будущего сооружения [3]
Расчеты и анализ	Наличие функций экспорта и импорта данных обеспечивает возможность проведения различных расчетов BIM-модели в сторонних программах	BIM-модели могут быть созданы в различных программных комплексах на усмотрение проектировщиков
5D-сметы	Программа 5D Смета позволяет выгрузить информацию в любую сметную программу для расчета сметной стоимости проектируемых объектов и составления сметной документации	Облегчается сметный расчет по ресурсной модели ценообразования в строительстве [4]

Аналитическая часть состоит из отдельного упрощенного трехмерного представления элементов. Аналитические данные используются в среде визуального программирования с открытым программным кодом Dynamo, являющимся подпрограммой Autodesk Revit. Главное назначение среды Dynamo — создание новых программных функций, позволяющих анализировать большие массивы данных и оптимизировать рутинные процессы. Процесс визуального программирования среды Dynamo мы хотим показать как последовательный набор действий, выполняемых по заданному алгоритму.

Целью данного исследования является разработка скрипта Dynamo, позволяющего для дальнейших вычислений представить любые топографические данные проекта в виде упорядоченного набора точек в другом программном комплексе — Microsoft Excel, который в дальнейшем широко используется в проектной деятельности.

Наиболее тяжелой и трудоемкой работой при проектировании строительных объектов является подсчет объемов земляных работ [9], необходимых в различных строительных процессах [10], которые порой должны быть выполнены в сложных климатических условиях. В связи с этим исследование использования BIM-технологии и разработка скрипта Dynamo определяются необходимостью упрощения данного трудоемкого процесса проектирования без потери его качества, что актуально на сегодняшний день.

Среда визуального программирования Dynamo

Запуск среды визуального программирования Dynamo осуществляется через одноименный инструмент панели инструментов — визуальное программирование вкладки «Управление программным комплексом Revit». В Dynamo основными элемен-

тами управления аналитическими данными являются узлы-ноды. Каждый нод выполняет определенную операцию, это может быть просто сохранение числа или более сложное действие, такое как создание или запрос геометрии. Большинство узлов в Dynamo состоит из пяти частей, анатомия каждого узла представлена на рис. 1.

1. Имя — Имя узла.

2. Main — основная часть узла.

3. Порты (входящие и исходящие) — приемники данных, которые поставляют входные данные в узел и выводят результаты действий из него.

4. Значок шнуровки указывает параметр шнуровки, необходимый для соответствия списку входов.

5. Значение по умолчанию: щелкните правой кнопкой мыши входной порт, некоторые узлы имеют значения по умолчанию, которые можно использовать или не использовать.

Входы и выходы для узлов называются портами и действуют как приемники для проводов. Данные поступают в узел через порты слева и выводятся из узла после того, как он выполнил свою операцию справа. Порты ожидают получения данных определенного типа. Например, подключение числа, такого как 2,75, к портам на узле «точка по координатам» успешно приведет к созданию точки; однако, если мы поставим символьное значение «Красный» на тот же порт, это приведет к ошибке.

Метод получения набора точек топографии с помощью Dynamo

В нашем исследовании в качестве исходных данных была принята случайная топографическая информация в программном комплексе Revit, которая приведена на рис. 2.

На рис. 3 представлен фрагмент скрипта, в котором для нода Select Model Element

Рис. 1. Схема нода

Рис. 2. Исходные топографические данные

Рис. 3. Схема исходных аналитических данных

приняты исходные топографические данные, переведенные в аналитический вид.

Для реализации задачи, поставленной авторами, исходную топографию необходимо представить в виде набора точек, разбитых по квадратам, для удобства шаг сетки назначен размером в 1 м.

Пример набора точек можно увидеть на рис. 4. Здесь представлены топографические данные, разбитые на три равные части, у каждой части четыре вершины с соответствующими координатами осей X, Y, Z.

Список точек ведется по часовой стрелке у каждой части. В том случае, если части

имеют смежную сторону, точки, принадлежащие этой стороне, будут учитываться в обеих частях в соответствующей нумерации и порядке.

В ходе исследования выяснилось, что в среде визуального программирования Dynamo тип данных Topography содержит информацию только о тех точках, по которым была построена исходная топография. Для получения сетки точек потребовались дополнительные построения спроецированной поверхности и лучей, пересечения которых с исходной поверхностью дадут нужный набор точек.

Рис. 4. Пример разбивки поверхности на сетку точек

На рис. 5 мы видим ноды, которые создают дополнительную топографическую информацию, где:

1 — нод, который получает набор точек, по которым строилась исходная топографическая модель (это могут быть точки границ и характерные точки);

2 — ноды, которые получают координаты соответствующей оси X , Y , Z соответствующей точки;

3 — нод, который подсчитывает координату Z для всех точек будущей топографии таким образом, чтобы исходная и будущая поверхность не пересекались. В данном ноде использовался язык программирования Python;

4 — нод, который строит точки по трем получившимся координатам. X , Y такие же, как у исходной топографии, а Z — для всех точек одинаковая;

5 — нод, который по данным точкам строит топографию. Так как топография имеет одинаковую координату Z , мы получили спроецированную поверхность;

6 — загружаемый нод, который представляет тип данных Topography в новый тип Surface.

Таким образом, на данном этапе исследования получено две поверхности с типом данных Surface.

Для того чтобы получить набор точек, необходимо разбить дополнительную поверхность на сетку, из вершин которой будут выходить лучи, их пересечение даст список точек.

Следующий шаг построений представлен на рис. 6 и 7, где:

1 — ноды, которые задают количество частей Surface в направлении соответствующей оси UV . Данный нод нуждается в доработке определения размера шага точек на этапе задания исходных данных. В данной разработке авторы заранее определили количество частей поверхности для получения сетки точек с шагом 1 м;

2 — нод, получающий обратное значение;

3 — ноды, создающие список координат UV . Таким образом, если $u = 0,2$, то точка будет находиться на оси U , удаленной от

Рис. 5. Схема дополнительного построения спроецированной поверхности

Рис. 6. Схема получения списка точек

Рис. 7. Схема получения сетки точек и построения дополнительных отрезков

центра координат на расстояние, равное 0,2 стороны Surface. В том случае, если Surface не представляет собой ровный участок поверхности, то шаг точек может быть различным. Вот почему потребовалось создание дополнительной спроецированной Surface, у которой деление на доли происходит равномерно и точки получатся с равным шагом;

4 — нод, который получает список точек с заданными координатами U , V ;

5 — загружаемый нод, который представляет беспорядочный набор точек в сетку точек в виде прямоугольников с четырьмя вершинами;

6 — нод, который задает вектор по оси Z ;

7 — нод, который задает длину будущим отрезкам;

8 — нод, который создает по сетке точек отрезки с направлением, соответствующим вектору по оси Z , и длиной, заданной автором.

Таким образом, на этом этапе разработки дополнительные построения, визуально представленные на рис. 8, закончены.

Последним этапом в получении набора точек с координатами является поиск пересечений набора геометрий.

В данном исследовании наборами геометрии являются исходная топографическая информация и дополнительно построенные лучи. Результатом пересечения луча с поверхностью является точка с соответствующими координатами X , Y , Z .

Фрагмент скрипта, который получает список точек, представлен на рис. 9, где:

1 — нод, содержащий исходную топографическую информацию;

2 — нод дополнительных построений отрезков;

3 — нод, получающий геометрию пересечений объектов. В нашем случае пересечение Surface и отрезков даст координаты точки пересечения;

4 — лист координат с точками (наборы точек, замыкающие равные четырехугольники).

Экспорт данных в Microsoft Excel

Перенесем полученный набор точек в программный комплекс Microsoft Excel в виде таблицы. В ходе исследования выяснилось, что для корректного экспорта данных в Excel полученный список координат необходимо

Рис. 8. Результат дополнительных построений

Рис. 9. Схема получения набора точек

представить в виде трех различных списков, каждый из которых соответствует одной из координат осей X, Y, Z.

На рис. 10 вы можете посмотреть результат работы Python Script в виде одного листа чистого набора точек.

Получив сплошной набор точек, экспортируем его непосредственно в Microsoft Excel.

На рис. 11 представлен фрагмент скрипта, на котором происходит экспорт точек топографической информации в виде координат X, Y, Z в Microsoft Excel, где:

Рис. 10. Результат работы Python Script

Рис. 11. Схема экспорта в Microsoft Excel

1 — нод, где записан чистый набор точек;
 2 — ноды, содержащие координаты точек соответствующей оси;
 3 — нод, отвечающий за номер строки заполнения данных в Microsoft Excel. При этом для всех трех колонок, которые будут соответствовать координатам соответствующей оси, значение будет равно 0. Также в ну-

левую колонку запишутся данные координат точек по оси X;
 4 — нод, отвечающий за номер колонки записи координаты точек по оси Y;
 5 — нод, отвечающий за номер колонки записи координаты точек по оси Z;
 6 — нод, отвечающий за путь хранения будущего файла Microsoft Excel;

7 — нод, непосредственно экспортирующий данные в Microsoft Excel;

8 — логические ноды, которые имеют значение «истина» или «ложь». Для ноды № 7 они служат переключателем, который отвечает за то, чтобы в файле Microsoft Excel перезаписывались данные при любом изменении внутри Dynamo;

9 — нод, отвечающий за номер листа будущего файла, куда производится экспорт данных.

На рис. 12 виден результат экспорта в Microsoft Excel. Данные экспортировались в колонки A, B, C как координаты точек X, Y, Z соответственно.

Представив исходную топографию в виде таблицы, авторы предлагают дальнейшее ее использование при подсчете объемов земляных работ. Для этого необходимо получить данные о координатах по оси Z новой топографии, при этом координаты по осям X, Y будут соответствовать исходной топографии.

На рис. 13 представлена расчетная модель для определения объемов земляных работ [11].

Таким образом, разница координат по оси Z исходной и новой топографии составит величину H .

Для модели котлована с вертикальными стенками и разными отметками вершин

	B	C	D	E	F
1	Y	Z	X округ	Y округ	Z округ
2	-5 000	3 000	-5 000	-5 000	3 000
3	-4 000	2 700	-5 000	-4 000	2 700
4	-4 000	3 600	-3 000	-4 000	3 600
5	-5 000	3 400	-3 000	-5 000	3 400
6	-4 000	2 700	-5 000	-4 000	2 700
7	-3 000	2 400	-5 000	-3 000	2 400
8	-3 000	3 800	-3 000	-3 000	3 800
9	-4 000	3 600	-3 000	-4 000	3 600
10	-3 000	2 400	-5 000	-3 000	2 400

Рис. 12. Результаты экспорта

Рис. 13. Расчетная модель подсчета объема земляных работ для одного участка

объем земляных работ будет определяться формулой:

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4)}{4},$$

где V — объем котлована; L_1, L_2 — линейные размеры котлована; H_1, H_2, H_3, H_4 — высотные отметки вершин.

Выводы

В результате проведенного исследования и проделанной работы мы пришли к следующим выводам.

Разработанный скрипт можно использовать при подсчете земляных работ и исследовании картограммы земляных работ с целью минимизирования затрат на производство работ нулевого цикла путем проектирования отметок поверхности земли. Это может быть использовано в дорожном строитель-

стве при прокладке наиболее экономически обоснованного маршрута дороги по критерию затрат на строительство.

По аналогичному принципу возможно получение таблиц данных не только топографии, но и других элементов BIM-моделей.

Применение разработанного скрипта значительно сократит время выполнения большого количества повторяющихся однотипных операций при разработке типовых объектов или построении сложной параметрической геометрии.

Для полной реализации всех возможностей визуального программирования рекомендуется рабочая схема «проектировщик — программист», в которой программист разрабатывает скрипты повторяющихся однотипных операций либо создает целые исследования, в которых моделируются различные варианты строящегося объекта по заданному критерию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mihindu S. Digital Construction Through BIM Systems Will Drive the Re-engineering of Construction Business Practices / S. Mihindu, Y. Arayici. — DOI 10.1109/VIS.2008.22 // IV 2008 — 12th International Conference on Information Visualisation, July 8–11, 2008. — London, 2008. — P. 29–34.
2. Бойко О.Р. Оценка экономической эффективности внедрения BIM-технологий на примере модели проектной организации / О.Р. Бойко, И.С. Птухина // Неделя науки СПбПУ : материалы науч. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 18–23 нояб. 2019 г. В 3 ч. Ч. 2 / отв. ред. Н.Д. Беляев, В.В. Елистратов. — Санкт-Петербург, 2019. — С. 5–8.
3. Лялин Д.О. Применение программного комплекса Autodesk Revit в проектной деятельности / Д.О. Лялин, С.Н. Машталер, Е.А. Дмитренко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. — 2017. — № 3 (125). — С. 23–27.
4. Кынева А.И. Сравнительный анализ методов определения стоимости строительства / А.И. Кынева, И.С. Птухина // Неделя науки СПбПУ : материалы науч. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 19–24 нояб. 2018 г. — Санкт-Петербург, 2018. — С. 356–359.
5. John D. Architectural Commercial Design Using Autodesk Revit 2014 / D. John. — [S. l.] : SDC Publications, 2013. — 478 p.
6. Ланцов А.Л. Компьютерное проектирование зданий: REVIT 2015: начала работы, архитектурные элементы здания, инженерные сети здания, несущие конструкции здания, оптимизация работы в проектах / А.Л. Ланцов. — Москва : CSD : РИОР, 2014. — 664 с.
7. John Preksel. Building Information Modeling (BIM) / John Preksel // CAD BIM. — URL: <https://cadbim.usace.army.mil/BIM>.
8. Jeff Yoders. How BIM/VDC Enabled a Building Team to Deliver a Truly Integrated Healthcare Project / Jeff Yoders // BDC. — URL: <http://www.bdcnetwork.com/hospital-project-pioneers-bimvdc-based-integrated-project-delivery>.
9. Козинец Г.Л. Технология возведения свайных фундаментов : учеб. пособие / Г.Л. Козинец, Н.Б. Колосова. — Санкт-Петербург : Изд-во С.-Петерб. политехн. ун-та Петра Великого, 2019. — 227 с.
10. Технология возведения зданий и сооружений. Технологические решения земляных и бетонных работ : учеб. пособие / Н.И. Ватин, Г.Я. Булатов, Н.Б. Колосова, М.В. Петрученко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Изд-во С.-Петерб. политехн. ун-та Петра Великого, 2018. — 106 с.

Информация об авторах

Колосова Наталья Борисовна — старший преподаватель, Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: nb.kolosova@yandex.ru.

Сергеев Владислав Викторович — студент, Высшая школа промышленно-гражданского и до-

Authors

Natalya B. Kolosova — Senior Lecturer, Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, the Russian Federation, e-mail: nb.kolosova@yandex.ru.

Vladislav V. Sergeev — Undergraduate Student, Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic

рожного строительства, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: wlad_sergeew2@mail.ru.

Для цитирования

Колосова Н.Б. Исследование трансформации аналитических данных из системы визуального программирования Динамо в электронные таблицы Microsoft Excel / Н.Б. Колосова, В.В. Сергеев. — DOI 10.17150/2500-2759.2021.31(2).156-166 // Известия Байкальского государственного университета. — 2021. — Т. 31, № 2. — С. 156–166.

University, St. Petersburg, the Russian Federation, e-mail: wlad_sergeew2@mail.ru.

For Citation

Kolosova N.B., Sergeev V.V. Researching Transformation of Analytical Data Obtained from Visual Programming System «Dynamo» into Microsoft Excel Worksheets. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 156–166. DOI: 10.17150/2500-2759.2021.31(2).156-166.