

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

О. Л. Коновалов¹

¹ К. т. н., доцент, зав. лабораторией информационных технологий и компьютерной графики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

Реферат

В работе предложен подход к построению информационной модели горнодобывающего предприятия, основанный на BIM-методологии. Разработан прототип сквозной информационной модели горнодобывающего предприятия, построенный на основе стандартной IFC-схемы. Показано, как в рамках предложенной модели могут быть представлены физические элементы и объекты структурной иерархии плана подземных горных работ.

Ключевые слова: BIM-технология, IFC-модель, информационная модель, подземная добыча.

INFORMATION MODELING OF OPERATING PROCESSES OF MINING ENTERPRISES

O. L. Konovalov

Abstract

The paper proposes an approach to building an information model of a mining enterprise based on the BIM methodology. A prototype of an end-to-end information model of a mining enterprise was developed, built on the basis of a standard IFC-scheme. It is shown how, within the framework of the proposed model the physical elements and objects of the structural hierarchy of the underground mining plan can be represented.

Keywords: Parallel computing, computing devices, system performance, neural network, training, dataset.

Введение

Жизненный цикл любого крупного инфраструктурного объекта включает в себя несколько основных этапов: планирование, проектирование, реализация и эксплуатация. Каждый из этих этапов, как правило, выполняется разными группами специалистов. При передаче информации от одной группы исполнителей к другой происходит потеря накопленных об объекте знаний. Особенно эта характерно для строительства, где в процесс создания объекта вовлечены различные подрядные организации. Эффективным решением проблемы явилась концепция информационного моделирования (Building Information Modeling - BIM) [1]. Она включает все этапы создания и управления трехмерным (3D) цифровым представлением физических и функциональных характеристик здания в течение всего его жизненного цикла. В настоящее время ведутся активные исследования по адаптации BIM-технологии к другим инфраструктурным объектам: мостам, дорожным развязкам и подземным туннелям [2-6].

В работе исследуются возможности BIM-технологии для построения информационной модели горнодобывающего предприятия.

Анализ проблемы

Добыча минеральных ресурсов шахтным способом предполагает создание и эксплуатацию крупной подземной инфраструктуры. Она включает: горные выработки, очистные пространства, транспортные и энергетические коммуникации, горно-шахтное оборудование и т. д. Использование BIM-технологии может существенно повы-

сить скорость и качество проектных работ, автоматизировать, в частности, процесс контроля выполнения проектов. Однако к настоящему моменту никаких значимых результатов в этом направлении не было получено. В данной работе предпринята попытка восполнить указанный пробел и предложить вариант информационной модели горнорудного предприятия, основанный на BIM-технологии. Информационные модели объектов при использовании данной технологии создаются на основе стандартизированных отраслевых базовых классов (Industry Foundation Classes - IFC) [7].

Базовый стандарт IFC построен на объектно-ориентированной модели данных и отношений, поэтому он легко модифицируется и расширяется. Методика его использования следующая. Сначала структурно-пространственная иерархия объекта (например: площадки->здания->этажи->помещения) представляются в виде соответствующих IFC-классов (IfcSite-> ifcBuilding -> ifcBuildingStorey-> IfcSpace). А затем с ними связываются конкретные физические элементы (основания, стены, проемы, окна). При этом каждый физический элемент состоит из компонента визуализации (геометрии) и набора прикрепленной к нему семантической информации. Все попытки использования BIM-технологии для новых предметных областей сводились, как правило, к расширению структуры классов IFC-схемы. В этом случае для описания новых объектов добавлялись новые классы для описания физических элементов и пространственно-структурной иерархии.

Впервые IFC-схемы были использованы для описания модели процесса строительства подземных туннелей исследователями университета Осаки [5]. Пространственная структура туннелей была построена ими с помощью новой ветки классов, унаследованной от базового класса `ifcCivilStructureElement`. А физическая конструкция подземного туннеля – с помощью дополнительных классов физических элементов (дочерние классы `ifcElement`).

Еще одна попытка расширения IFC-схемы была предпринята исследовательскими группами из университетов Бохума и Мюнхена [6]. Представление пространства туннеля в данном случае наследовалась непосредственно от класса `ifcSpace`, а конкретный вид пространства типизировался с помощью специального перечисления – `ifcTunnelSpaceEnum`. Дополнительные классы `ifcTunnel` и `ifcTunnelPart` фактически являлись клонами стандартной структурной пары «здание->этаж» (`ifcBuilding -> ifcBuildingStorey`).

Описанные выше подходы имеют один существенный недостаток. Они исключают возможность использования валидаторов, обработчиков и визуализаторов – важных вспомогательных средств, разработанных для стандартных IFC-схем. Кроме того, утверждение новых расширений находится в ведении международного консорциума `buildingSMART` и требует выполнения ряда бюрократических процедур. Поэтому для разработки информационной модели горнорудного предприятия предполагается максимально использовать стандартную IFC-схему без каких-либо ее расширений.

Структурное представление горнодобывающего предприятия

Анализ внедренных на горнорудных предприятиях информационных систем показал, что между структурой здания и подземной инфраструктурой горнодобывающего предприятия можно построить достаточно «адекватное» соответствие. В первую очередь это обусловлено семантической идентичностью сущностей «этаж» для модели здания и «горизонт» для подземной инфраструктуры. Приведем схему соответствия классов пространственной структуры IFC и структурных сущностей горнорудного предприятия (рисунок 1).

На основе приведенной схемы соответствия предложена IFC-модель горнорудного предприятия (рисунок 2). Корневым структурным элементом этой модели является класс `ifcSite`, который используется для предоставления информации о месте строительства и модели рельефа строительной площадки. Рельеф можно задавать точками высотных отметок (`ifcCartesianPoint`) и проходящих через них изолиний (`ifcGeometricCurveSet`) или наборами пространственных треугольников (`ifcFace`).

Следующий элемент иерархии IFC-схемы – класс `ifcBuilding` будет использоваться для представления горного рудника. При этом этажи будут соответствовать горизонтам. Этаж здания, представленный в IFC-схеме классом `ifcBuildingStorey`, будет использоваться для предоставления информации о подземном горизонте. Он в свою очередь включает в себя ссылки на подземные пространства. Горизонт может включать в себя под горизонты. В дополнение к унаследованным атрибутам (`Name`, `Description`, `LongName` и `ObjectType`) для класса `ifcBuildingStorey` должен быть указан атрибут `Elevation`. При описании модели этажа здания этот атрибут определяет абсолютную высоту основания этажа. При описании модели горизонта он будет использоваться для задания его глубины.

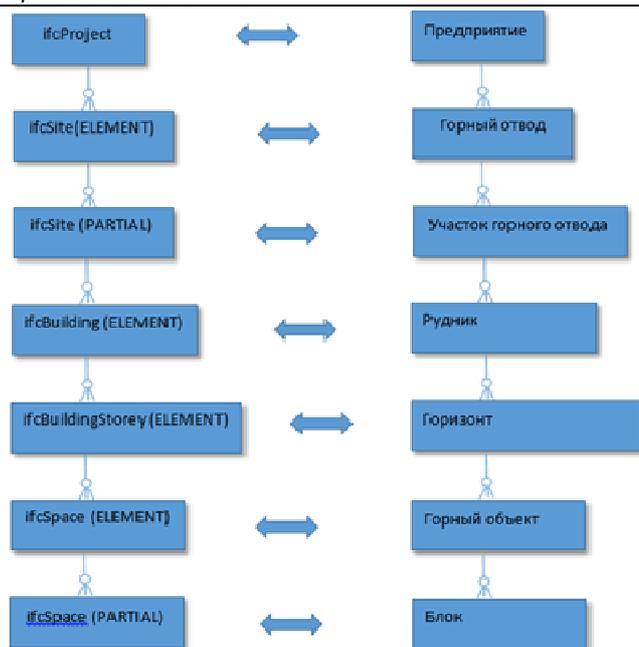


Рисунок 1 – Схема соответствия классов пространственной структуры IFC и структурных сущностей горнорудного предприятия

Сущности «горный объект» и «блок», представленные классом `ifcSpace`, используются для предоставления информации о подземном пространстве. В отличие от вышестоящих по иерархии элементов пространственной структуры (рудник, горизонт), эти элементы уже могут содержать собственное геометрическое представление. Разбиение горизонта на объекты и блоки определяется механизмами проектирования и отработки горизонта. Реальные физические горные элементы (выработки, сбойки, кроссинги) должны быть наследниками класса `ifcElement` и подключатся к структурным элементам через объекты отношения «содержится в пространственной структуре» (`ifcRelContainInSpatialStructure`).

Таким образом показано, что для представления структуры горнорудного предприятия достаточно стандартных классов пространственной структуры IFC. Далее рассмотрим возможность представления физических элементов плана горных работ (горных элементов) с помощью стандартных классов схемы IFC.

Концепция горного элемента

Сущность «горный элемент», используется для описания конкретного элемента подземного пространства как некоторой функциональной области в рамках структурно-пространственной иерархии (горизонт, объект, блок). На рисунке 3 приведена схема и геометрические параметры (проекционные параметры) типичного горного элемента – сопряжения трех горных выработок.

Существующая практика проектирования предполагают простое агрегирование проектируемого горного объекта из отдельных элементов. При этом возможно пересечение элементов. Последнее допущение обоснованно, так как горный элемент представляет собой полость и наложение элементов физически возможно.

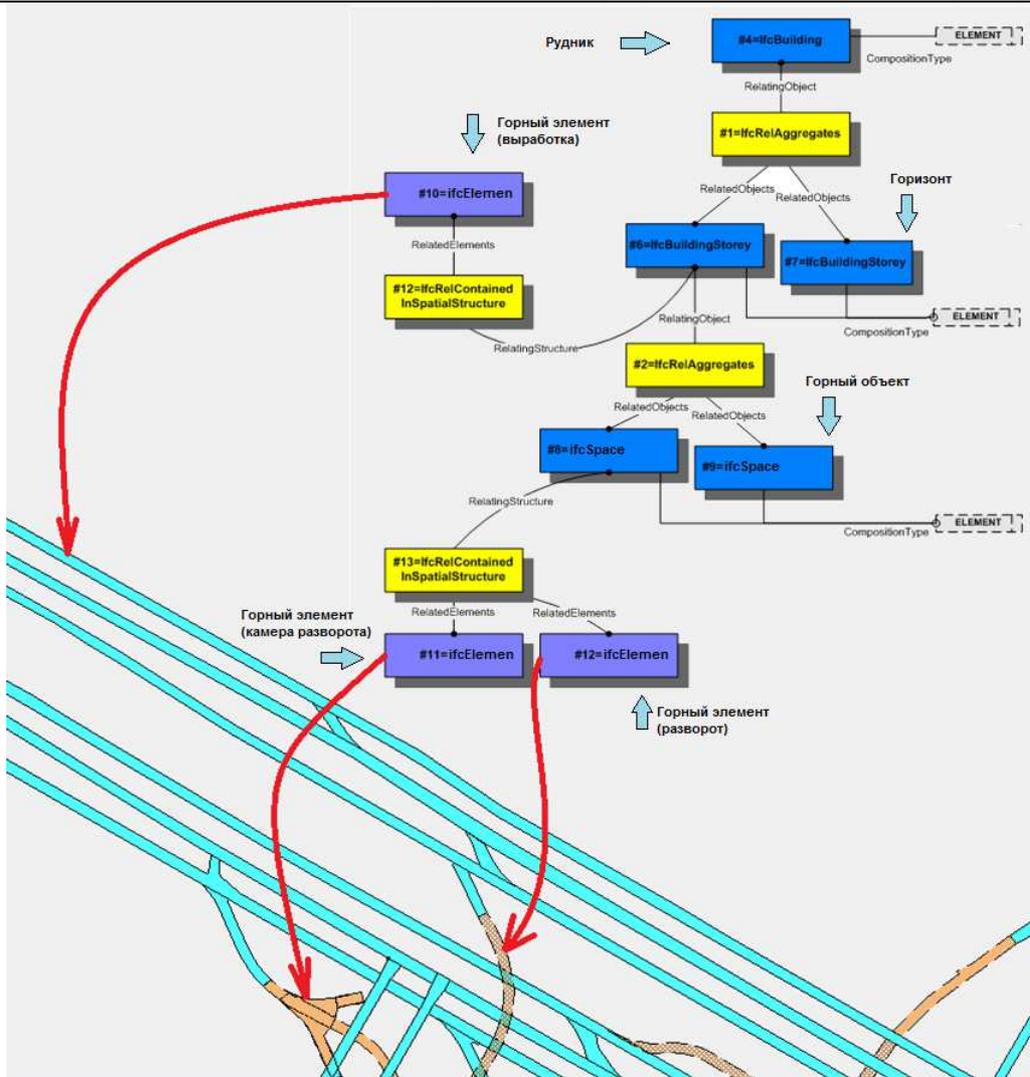


Рисунок 2 – Схема IFC-модели горнорудного предприятия

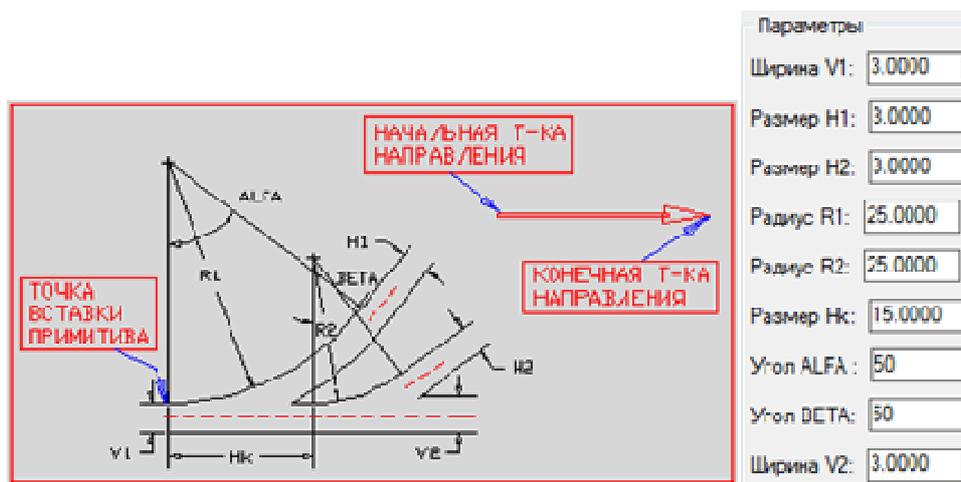


Рисунок 3 – Схема сопряжения трех горных выработок

Для представления горных элементов предлагается не добавлять новых потомков к общему предку всех строительных элементов `IfcBuildingElement`, как это сделано для модели подземных туннелей [5], а использовать непосредственно экземпляры этого класса, динамически типизируя их с помощью связанных экземпляров класса `IfcPropertySet`. Такой подход позволяет остаться в рамках

стандартной IFC-схемы и при этом использовать все свойства класса `IfcBuildingElement`.

Исходя из концепции IFC, ключевым свойством модели горного элемента является его трехмерное представление. Из-за разнообразия возможных форм горных элементов необходима типизация элементов по форме представления. С точки зрения геометрического представле-

ния достаточно простым элементом является «одиночная выработка». Внутреннее пространство одиночной выработки представляет собой экструзию, то есть тело, образуемое точками некоторого замкнутого простого полигона (профиля) при его движении вдоль некоторой простой полилинии (направляющая полилиния). Физически профиль представляет собой рабочую область некоторого проходческого комплекса. Форма и размер профиля вдоль заданной направляющей считается постоянной.

Для представления 3D-геометрии одиночной выработки предлагается использовать класс представления `IfcSurfaceCurveSweptAreaSolid`. Поверхность, описываемая этим классом, является местом точек профиля при его движении вдоль директрисы (класс `IfcCurve`). Последняя лежит на опорной поверхности (класс `ReferenceSurface`). Сам профиль является объектом класса `IfcProfileDef`. При формировании боковой поверхности одиночной выработки профиль размещается в начальной точке развертки, где нормаль профиля совпадает с тангенсом направляющей в этой точке. В то время как ось x профиля совпадает с нормалью поверхности. В процессе движения профиля вдоль направляющей нормаль профиля совпадает с касательной к направляющей, а ось x профиля идентична нормали поверхности в этой точке (рисунок 4).

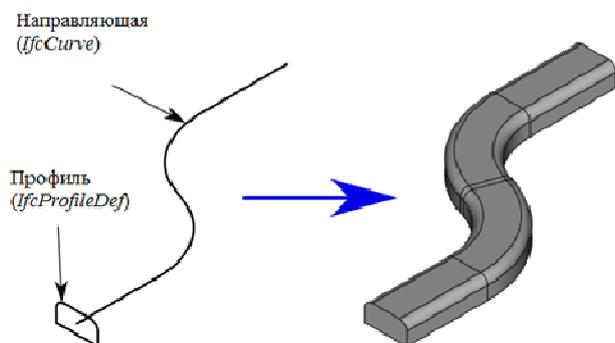


Рисунок 4 – Поверхность «одиночной выработки» задаваемой профилем сечения и направляющей кривой

Еще одной разновидностью горного объекта является «камера». Камера представляет собой горизонтальную полость с прямоугольным сечением и фиксированной высотой. Фактически для описания формы камеры достаточно задания ее контура и высоты камеры. Для представления 3D-геометрии камеры предлагается использовать класс представления `IfcExtrudedAreaSolid`. Поверхность, описываемая этим классом, является местом точек профиля при его движении вдоль вертикальной оси на заданное расстояние. Приведем фрагмент ifc-файла, иллюстрирующий пример создания элемента типа камера:

```
/* Создадим горный элемент как экземпляр класса ifcBuildingElement */
#8= ifcAxis2Placement3D(#10,$,$);
#13= ifcLocalPlacement($,#8);
#26= ifcBuildingElement (GUID,$,'камера 1',$,#13,#27,');
/* Создадим представление элемента как экземпляр класса IfcExtrudedAreaSolid */
#27= ifcProductDefinitionShape($,$,#28);
#28= ifcShapeRepresentation(#7,'Body','SweptSolid',(#29));
#29= ifcExtrudedAreaSolid(#30,#32,#22,1000.);
#30= ifcRectangleProfileDef(.AREA.,$,#23,100.,1000.);
#31= ifcCartesianPoint((500.,0.,100.));
#32= ifcAxis2Placement3D(#31,$,$);
```

Кроме собственно геометрического представления каждый горный элемент содержит большое количество атрибу-

тивных параметров, которые используются для обработки и анализа горного объекта. К таким свойствам относятся: статус, состояние, тип сечения, тип выработки, назначение, вид работ, конструкция выработки, параметры сечения и т. д. Структура всех параметров, которыми может обладать горный элемент, должна быть описана с помощью концепции `ifcPropertySet` и инкапсулирована в экземпляре класса `IfcTypeObject` с именем «MiningElement». Присвоение горному элементу конкретного набора параметров осуществляется с помощью создания нового экземпляра класса `ifcPropertySet`, в который включаются только изменяемые параметры. Связывания набора измененных параметров с конкретным горным элементом осуществляется через экземпляр отношения `IfcRelDefinesByProperties`.

Приведем фрагмент ifc-файла, иллюстрирующего механизм параметризации горного элемента. В первой части (Part 1) создается экземпляр класса `IfcTypeObject`. При создании экземпляра задаются: GUID, имя экземпляра и индексы двух наборов свойств (#1001, #2001). Во второй части фрагмента (Part 2) набор параметров, создаваемый для описания формы сопряжения, приведенного на рисунке 3. Каждый параметр сопряжения задается отдельным экземпляром класса `ifcPropertySingleValue`. В третьей части фрагмента (Part 3) создается набор атрибутов для описания свойств горного элемента. В данном случае атрибут задается отдельным экземпляром класса `ifcPropertyEnumeratedValue`, который в свою очередь ссылается на набор значений, определенный в четвертой части фрагмента (Part 4) с помощью экземпляров класса `ifcPropertyEnumeration`.

```
/*Part 1 Экземпляр ifcTypeObject для описания свойств горного элемента */
#1=ifcTypeObject (GUID, $, "MiningElement", $, $, (#1001,#2001));
/*Part 2 Экземпляр класса ifcPropertySet для набора параметров формы ГЭ*/
#1001=ifcPropertySet (GUID, $, 'Conn-X-K1', $, (#1101, #1102, #1103));
/* Создаем экземпляры класса ifcPropertySingleValue для определения параметров */
#1101=ifcPropertySingleValue('V1',$,3.0,$);
#1102=ifcPropertySingleValue('H1',$,3.0,$);
#1103=ifcPropertySingleValue('H2',$,3.0,$);
/*Part 3 Экземпляр класса ifcPropertySet для атрибутивных параметров ГЭ*/
#2001=ifcPropertySet (GUID, $, 'DriftParams', $, (#2101, #2102, .. #2105));
/* Создаем экземпляры класса ifcPropertyEnumeratedValue для атрибутов */
/* Тип сечения выработки */
#2101=ifcPropertyEnumeratedValue('DriftCross', $, ('URAL', #3101);
/* Тип выработки */
#2102=ifcPropertyEnumeratedValue('DriftType', $, ('SBOYKA', #3102);
/* Назначение выработки */
#2103=ifcPropertyEnumeratedValue('DriftDestination', $, ('VENT', #3103);
/* Вид работ */
#2104=ifcPropertyEnumeratedValue('DriftWork', $, ('PREPARE', #3104);
/* Тип элемента */
#2105=ifcPropertyEnumeratedValue ('DriftConstruction', $, ('ConnK1', #3105);
/*Part 4 Создание справочников */
/* Справочник сечений выработки */
#3101=ifcPropertyEnumeration('PEnum_DriftCross', ('URAL', .. 'PK-8'), $);
/* Справочник типов выработки */
#3102=ifcPropertyEnumeration('PEnum_DriftType', ('SBOYKA', .. 'SHTREK'), $);
/* Справочник назначений выработок */
```

```
#3103=ifcPropertyEnumeration('PEnum_DriftDestination', ('VENT',
..., 'TRANS'), $);
/* Справочник видов работ */
#3104=ifcPropertyEnumeration('PEnum_DriftWork',
('PREPARE', ..., 'CLEANING'), $);
/* Справочник типов элементов */
#3105=ifcPropertyEnumeration('PEnum_DriftConstruction',
('ConnK1', ..., 'ConnJ1'), $);
```

Таким образом, показано, что стандартные возможности IFC-схемы позволяют описать все свойства, возникающие при традиционном графическом проектировании горного объекта.

Представление горного элемента с помощью класса ifcBuildingElement предоставляет широкий спектр дополнительных возможностей. Наиболее значимой является использование концепции «Work processes». С помощью специального класса отношений IfcRelAssignsToProcess горный элемент может быть связан с некоторым процессом (экземпляр класса IfcProcess) или связанной группой процессов. В качестве таких процессов могут рассматриваться: проходка (создание), укрепление кровли, размещение и демонтаж оборудования. В свою очередь этот же механизм может быть использован для назначения процессу ресурсов (экземпляр класса IfcResource) и календарного планирования (экземпляр класса IfcControl).

Заключение

В работе рассмотрена актуальная проблема, связанная с построением сквозной информационной модели горнодобывающего предприятия. Предложен подход к ее решению, основанный на BIM-методологии. В рамках подхода разработан прототип информационной модели горнодобывающего предприятия, построенный с использованием стандартной IFC-схемы. Показано, как для реализации структурной иерархии горнодобывающего предприятия можно использовать стандартные классы ее пространственной структуры. Определена новая сущность «горный элемент». Для ее описания предложено использовать общего предка строительных элементов ifcBuildingElement. А для хранения атрибутики типизации и параметризации формы горного элемента – механизм динамической ассоциации экземпляра горного элемента и конкретного набора свойств задаваемого экземпляром класса ifcPropertySet.

Рассуждая о перспективах практического использования предлагаемой в работе модели, следует отметить, что для этого необходимо детально проработать ряд дополнительных вопросов. В первую очередь это касается топологических связей горных элементов. Кроме того, необходимо решить проблемы хранения и корпоративного редактирования IFC-модели, а также ее интеграцию с CAD-системами, используемыми при горном проектировании [8], и с цифровой геологической моделью месторождения [9].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Eastmann, C BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners / C. Eastmann, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston // Managers, Designers. – New Jersey : Wiley & Sons. Inc., 2008.
2. Ji, Y. Exchange of Parametric Bridge Models Using a Neutral Data Format / Y. Ji, Borrmann A., Beetz J., Obergruesser M. // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2013. – Vol. 27. – No. 6. – P. 593–606.
3. Rebolj, D. Development and application of a road product model / D. Rebolj, A. Tibaut, N. Cus-Babic, A. Magdic, P. Podbrenznik // Automation in Construction. – 2008. – Vol. 17. – No. 6. – P. 719–728.

4. Lee, S. H. IFC Extension for Road Structures and Digital Modeling / S. H. Lee, B. G. Kim // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 14 – P. 1037–1042.
5. Yabuki, N. Development and application of a product model for shield tunnels / N. Yabuki, Aruga T., H. Furuya // In Proc. of the 30th Intl. Symposium on Automation and Robotics in Construction. – Montreal, 2013.
6. Amann, J. A Refined Product Model for Shield Tunnels Based on a Generalised Approach for Alignment Representation / J. Amann, A. Borrmann, F. Hegemann, J. Jubierre, M. Flurl, C. Koch, M. Koenig // In Proc. of the 1st Intl. Conference on Civil and Building Engineering Informatics. – Tokyo, 2013.
7. BuildingSMART IFC Overview summary, buildingSMART. – 2015. [Online]. – Available : <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/>.
8. Видякин, В. В. ГИС-технологии при добыче полезных ископаемых. Специализированная корпоративная геоинформационная система «MapManager» / В. В. Видякин, М. А. Журавков, О. Л. Коновалов, А. А. Клевченя, Д. Н. Воронков, В. П. Зенько, С. П. Сасункевич – Минск: БГУ, 2004. – 208 с.
9. Журавков, М. А. Основные требования к построению цифровой геологической модели породного массива / М. А. Журавков, О. Л. Коновалов, А. В. Круподеров, С. С. Хвесеня // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 56–62.

References

1. Eastmann, C BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners / C. Eastmann, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston // Managers, Designers. – New Jersey : Wiley & Sons. Inc., 2008.
2. Ji, Y. Exchange of Parametric Bridge Models Using a Neutral Data Format / Y. Ji, Borrmann A., Beetz J., Obergruesser M. // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2013. – Vol. 27. – No. 6. – R. 593–606.
3. Rebolj, D. Development and application of a road product model / D. Rebolj, A. Tibaut, N. Cus-Babic, A. Magdic, P. Podbrenznik // Automation in Construction. – 2008. – Vol. 17. – No. 6. – R. 719–728.
4. Lee, S. H. IFC Extension for Road Structures and Digital Modeling / S. H. Lee, B. G. Kim // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 14 – R. 1037–1042.
5. Yabuki, N. Development and application of a product model for shield tunnels / N. Yabuki, Aruga T., H. Furuya // In Proc. of the 30th Intl. Symposium on Automation and Robotics in Construction. – Montreal, 2013.
6. Amann, J. A Refined Product Model for Shield Tunnels Based on a Generalised Approach for Alignment Representation / J. Amann, A. Borrmann, F. Hegemann, J. Jubierre, M. Flurl, C. Koch, M. Koenig // In Proc. of the 1st Intl. Conference on Civil and Building Engineering Informatics. – Tokyo, 2013.
7. BuildingSMART IFC Overview summary, buildingSMART. – 2015. [Online]. – Available : <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/>.
8. Vidyakin, V. V. GIS-tehnologii pri dobyche poleznyh iskopaemyh. Specializirovannaya korporativnaya geoinformacionnaya sistema «MapManager» / V. V. Vidyakin, M. A. Zhuravkov, O. L. Kononov, A. A. Klevchenya, D. N. Voronkov, V. P. Zen'ko, S. P. Sasunkevich – Minsk: BGU, 2004. – 208 s.
9. Zhuravkov, M. A. Osnovnye trebovaniya k postroeniyu cifrovoy geologicheskoy modeli porodnogo massiva / M. A. Zhuravkov, O. L. Kononov, A. V. Krupoderov, S. S. Hvesenya // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. – 2014. – № 2. – S. 56–62.

Материал поступил в редакцию 17.12.2020