

О.В. Наговицын, С.В. Лукичев

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

Рассмотрены вопросы применения программных средств горно-геологических информационных систем (ГГИС), приведены примеры программных продуктов для решения задач проектирования и планирования горных работ. Сравнительный анализ развития систем автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом объектов и изделий в области машиностроения, строительства и горного дела показал, с одной стороны, на существенное отличие объектов проектирования и планирования горного производства от аналогичных в области машиностроения и строительства. С другой стороны, тенденция развития ПО, перечень и способы решения задач в рассматриваемых отраслях промышленности показывают близость используемых подходов и средств решения задач информационного обеспечения современного автоматизированного производства. Показаны особенности CAD/CAM/CAE, PLM, PDM и BIM технологий для решения задач горного производства на различных этапах жизненного цикла горного предприятия.

Ключевые слова: ГГИС, САПР, CAD/CAM/CAE, базы данных.

На сегодняшний день машиностроение является флагманом применения компьютерных технологий для решения задач проектирования и производства готовой продукции. Развитие программных продуктов класса систем автоматизированного проектирования было обусловлено в первую очередь потребностями таких производств как автомобиле-, авиа-, судостроение. За многие годы сложился комплекс связанных друг с другом автоматизированных технологий, обеспечивающих повышение качества продукции, сокращение времени и стоимости разработки и выпуска продукции, ее сопровождения и последующей утилизации. Это технологии автоматизированного проектирования (computer-aided design – CAD),

автоматизированного производства (computer-aided manufacturing – САМ) и автоматизированной разработки или конструирования (computer-aided engineering – САЕ) [1]. По-русски совокупность систем САД/САМ/САЕ принято называть системами автоматизированного проектирования – САПР.

Средства САПР применяют и при добыче полезных ископаемых. Среди отраслей народного хозяйства горнодобывающая промышленность имеет ряд особенностей связанных, прежде всего с необычностью объекта производства. В отличие от машиностроения, где обработка сырья и получение готовой продукции ведется в стационарных условиях, исходные материалы и получаемые из него продукты имеют фиксированные свойства, а обрабатывающие механизмы и станки имеют, как правило, большие размеры, чем изготавливаемые детали, в горном деле приходится иметь дело с природными объектами, свойства которых характеризуются большим разнообразием, а инструменты и оборудование значительно меньшие размеры, чем объект их приложения. И если суть машиностроения состоит в том, чтобы производить готовые изделия, состоящие из множества работающих совместно деталей, то горное дело – это скульптор наоборот, из массива пустых пород необходимо извлечь только то, что представляет экономический интерес.

Эти и многие другие особенности горного производства накладывают свою специфику на применяемые в горной промышленности компьютерные технологии, составляющие отдельным частям САПР. Воспользуемся вышеупомянутыми определениями разновидностей автоматизированных технологий САД/САМ/САЕ и рассмотрим, какие виды программных продуктов соответствуют им в горном деле и какие задачи они решают. Представим их последовательно в виде таблицы.

Имеется несколько разновидностей программного обеспечения (ПО), которое можно отнести к САПР горных работ. В первую очередь необходимо отметить наличие многофункционального ПО, специально разработанного для решения задач всего комплекса САД/САМ/САЕ горных работ. Ранее такое ПО называли интегрированными горными пакетами или системами, а сейчас все больше используется словосочетание горно-геологические информационные системы (ГГИС). И хотя даже самые развитые ГГИС не решают всего набора САД/САМ/САЕ-задач, отличает их, прежде всего, интеграционная составляющая, которая позволяет различным частям ПО работать в едином информационном пространстве на основе унифицированного

Автоматизируемая технология	Инженерные задачи горной технологии	Специализированное ПО	ГИС
<p>CAD Автоматизированное проектирование. Создание геометрических моделей. Генерация чертежей.</p>	<p>Обработка первичной графической – геодезической, маркшейдерской и геологоразведочной документации. Моделирование скважинного и иного опробования. Проектирование выработок открытых и подземных горных работ. Проектирование насыпных сооружений. Проектирование буровзрывных работ. Построение разрезов, планов, профилей и иных графических документов в стандартах горной графики.</p>	<p>AutoCAD Arcinfo Blastmaker Digimine Mapinfo САМАРА Photomod</p>	<p>CAE Mining Carlson Mining Интегра Geovia Geomix K-Mine Micromine Mineframe Minescape Minesight Techbase Vulcan</p>
<p>CAM Автоматизированная подготовка производства</p>	<p>Планирование горных работ от перспективного до краткосрочного.</p> <p>Автоматизированное управление технологическими процессами (диспетчеризация).</p>	<p>Mine2-4D NPVSheduler Runge (XPAСK, XACT)</p> <p>Modular Mining Союзтехноком Vist Карьер Wenco</p>	
<p>CAE Автоматизированный инженерный анализ</p>	<p>Геологическое моделирование – определение закономерностей распределения значимых компонентов в недрах. Гидрогеологическое моделирование. Геомеханическое моделирование. Оптимизация границ карьеров. Горно-геометрический анализ карьерных полей. Определение параметров системы разработки.</p>	<p>ANSYS EcoSSe 3D Galena Genesis GST Leapfrog Modflow Move PLAXIS Rockware RockWorks Runge (Talpack, Haulsim,</p>	

	<p>Моделирование систем вентиляции подземных рудников и расчеты безопасного состояния атмосферы карьеров. Моделирование процессов взрывного разрушения горных пород. Моделирование выпуска руды. Имитационное моделирование технологических процессов и их совокупностей.</p>	<p>Dragsim) Sigma- GT Surfer SVOffice</p>	
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------	--

подхода к хранению и обработке данных. ГГИС являются основой для создания инженерных информационных систем горных предприятий и зачастую реализуют процедуру обмена данными между геологоразведочными, исследовательскими, проектными организациями и горными предприятиями. Можно выделить несколько компаний, разрабатывающих приложения не только для горной промышленности, но и других отраслей и имеющие широкий спектр программных продуктов САПР, в котором горные приложения являются частью линейки предлагаемого ПО – Dassault System, CAE, Mincom.

Специализированное ПО решает задачи определенной CAD/CAM/CAE- технологии и, как правило, используется в комплексе с ГГИС или другим вспомогательным ПО. Интеграция осуществляется за счет использования распространенных обменных форматов файлов (dxf, txt, csv, las, dat и пр.), наличием средств импорта/экспорта в форматы CAD, ГИС, ГГИС и доступа к информации, хранимой с помощью систем управления базами данных. Приведенные в таблице названия ПО не составляют исчерпывающий список, можно найти гораздо больше программ различной направленности, функционала и проработанности – от проектов с открытым исходным кодом до коммерческих программ, например [2, 3].

Большое значение на крупных предприятиях машиностроения приобрели технологии управления жизненным циклом изделия Product Lifecycle Management (PLM) (жизненный цикл изделия). Это организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства, до снятия с эксплуатации и утилизации. В машиностроении, в качестве

изделий рассматриваются сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолеты и ракеты, компьютерные сети и др.). Информация об объекте, содержащаяся в PLM-системе является цифровым макетом этого объекта [4].

По мере разработки и совершенствования PLM-системы получили следующий функционал:

I. Управление данными об изделии с поддержкой совместной работы:

- централизация инженерных данных;
- единое представление структуры продукта;
- визуализация и цифровая сборка;
- управление изменениями в инженерных данных;
- обеспечение безопасности и прав доступа.

II. Расширенные возможности управления жизненным циклом изделия:

- управление проектами и портфелями;
- управление требованиями;
- обеспечение качества и соответствия регулятивным нормам;
- интеграция этапов поставки материалов, производства и постпродажного обслуживания;
- кроссфункциональные потоки работ.

III. Социальная разработка продуктов:

- усовершенствования совместной работы в распределенных командах;
- новые идеи, решения проблем и обратная связь от внешних сообществ;
- интеграция новых сервисов в традиционные продуктовые предложения.

Фактически, изделием или продуктом, производимым горной промышленностью, является сырье — руда, уголь, строительные материалы, самородные камни и металлы. Как правило, продукт горных работ не имеет самостоятельного значения, являясь сырьем для дальнейшего использования в металлургии, химической и энергетической отраслях, строительстве. Жизненный цикл такого продукта определяется проектом ведения горных работ, и реализуется через управление рудопотоками (потоками ПИ), с задачей обеспечения стабильных по объему и качеству потоков ПИ от места добычи к месту переработки с наименьшими затратами. Проектом определяется способы и порядок вскрытия и отработки запасов ПИ, способы отделения его от массива горных пород и перемещения к месту переработки. Явным отличием от машиностроения является то, что



Рис. 1. Основные этапы жизненного цикла продукта машиностроения (а) и горного предприятия (б)

в горной промышленности проект составляется не на производство готового к переработке ПИ, как изделия, а на предприятие, осуществляющее добычу этого ПИ. В этом оно схоже, скорее, со строительством зданий и сооружений. Свойства же ПИ определяются техническими условиями, ГОСТами, отраслевыми стандартами. Таким образом, в горной отрасли в качестве объекта проектирования необходимо рассматривать сложную техническую систему открытого или подземного рудника, угольного разреза или шахты, производящую товарное ПИ.

Основные этапы жизненного цикла типичного продукта машиностроения включают: проектирование, производство, эксплуатация, утилизация (рис. 1, а). Средства САПР применяются на первых двух этапах. На этапе эксплуатации используются

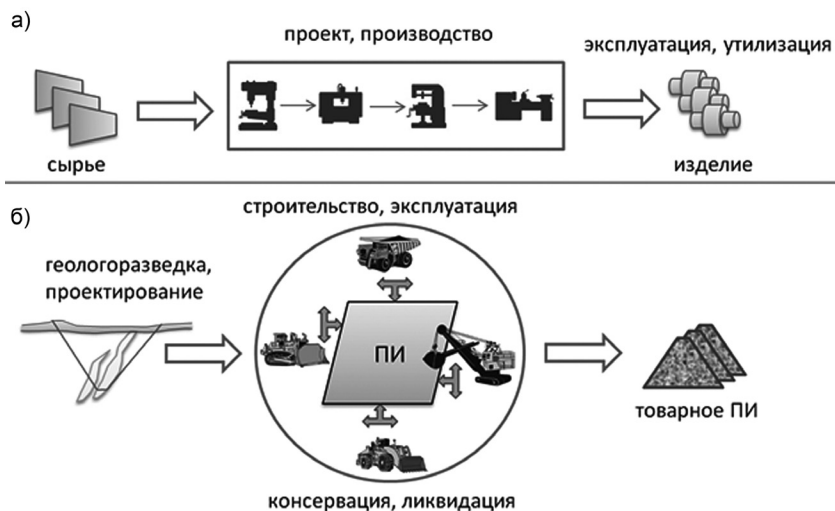


Рис. 2. Этапы и объекты жизненного цикла продукта машиностроения (а) и горного предприятия (б)

автоматизированные системы управления сложными техническими устройствами. В жизненном цикле горного предприятия (рис. 1, б) средства ГГИС применяются на всех этапах. На рис. 2 представлены различия между объектами (моделями) в этапах жизненного цикла машиностроения сырье-обработка-изделие (рис. 2, б) и в горном деле – ПИ в недрах-добыча-товарное ПИ (рис. 2, б).

Можно провести аналогию между гражданским/ промышленным строительством и горным предприятием – и то и другое являются сложными техническими сооружениями, их строительство и эксплуатация занимают длительное время, они изменяют ландшафт. Но и здесь имеется существенная разница – объекты строительства практически не изменяются на стадии эксплуатации, собственно процессы строительства и эксплуатации радикально отличаются друг от друга, в отличие от горного предприятия, где эксплуатация фактически ведется теми же технологическими процессами, и можно сказать, что строительство продолжается на протяжении всего жизненного цикла горнодобывающего предприятия. Другим отличием от машиностроения и строительства, является то, что горное производство имеет дело с геопространственными данными, которые непрерывно изменяются в течение всего жизненного цикла (иногда это десятки лет), органически обладая, таким образом, четвертым измерением – временем. Это в свою очередь приводит к тому, что модели, представляющие такие объекты горного предприятия, как горные выработки, отвалы пустых пород и хранилища отходов обогащения должны создаваться в 4D пространстве.

В этом контексте можно отметить несколько особенностей жизненного цикла горного предприятия, как объекта проектируемого с помощью средств ГГИС:

- Применение средств ГГИС может начаться уже на этапе геологоразведки для проектирования разведочных работ, моделирования произведенного опробования, определения закономерностей распределения ПИ в недрах, его геометризации и создания моделей геологических, стратиграфических и литологических разностей.

- Исходным для проектирования являются данные геологических, геофизических, геодезических изысканий в виде определенных, учтенных и утвержденных государственными органами запасов ПИ, представленных в виде моделей месторождений, топографических поверхностей, закономерностей распределения полезных и вредных компонентов в недрах.

- На этапе проектирования определяется не только конечный вид карьера или подземного рудника, как совокупность горных выработок, но и календарная последовательность их проведения и погашения, последовательность отработки запасов, производительность и скорость развития горных работ в пространстве. Должны быть учтены особенности залегания ПИ, геомеханические, гидрогеологические и экологические факторы. Все это требует предварительного моделирования и вариантного подхода к обоснованию проектных решений на основе экономического сравнения.

- Строительство и эксплуатация горных предприятий зачастую ведется схожими технологиями, а инженерное обеспечение этих этапов производится одними и теми же средствами ГГИС. Так производится проектирование проходки горных выработок и отработки выемочных единиц, проектирование массовых взрывов, транспортных коммуникаций. При составлении плана горных работ используются модели геологической среды, текущего положения горных работ, решений из проекта предприятия. План горных работ становится руководящим документом для оперативного управления горными работами посредством автоматизированных систем управления технологическими процессами. Средства автоматизированного геомеханического, гидрогеологического мониторинга, наблюдения за состоянием атмосферы карьеров и подземных рудников непосредственно влияют на ведение горных работ, являясь одним из инструментов обеспечения инженерного сопровождения технологического цикла горного предприятия.

- Автоматизированные системы управления технологическими процессами должны на основе плана горных работ не только выдавать поток ПИ заданного качества и объема, но и контролировать изменение пространственного положения единиц горно-транспортного оборудования в меняющейся во времени геометрической конфигурации выработанного пространства.

- Приняв свой законченный вид (в связи с исчерпанием запроектированного к отработке ПИ или изменением экономических условий) горное предприятие практически сразу прекращает свой жизненный цикл на этапе ликвидации, либо подвергается процедуре реконструкции, которая в той или иной степени повторяет обозначенные выше этапы.

- На стадии геологоразведки и утверждения запасов ПИ происходит формирование геологической модели, на стадии проектирования появляются модели проектных горных выработок,

на стадии строительства и эксплуатации происходит изменение геологических моделей вследствие изменения их формы по мере извлечения горных пород из недр, уточнения параметров залегания и закономерностей распределения качественных характеристик в ходе постоянной доразведки. Модели проектных горных выработок становятся фактическими по мере реализации проектных решений, а контроль качества реализации требует автоматизированных технологий сбора данных и обработки данных (маркшейдерская съемка и компьютерное моделирование). В результате ведения открытых горных работ, а в некоторых случаях и подземных, происходит изменение рельефа, что также предполагает использование методов сбора и обработки геодезических данных.

Для обеспечения совместного функционирования компонентов САПР и координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием разрабатываются системы, получившие название систем управления проектными данными PDM (Product Data Management). PDM-системы — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом, в качестве изделий рассматриваются различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолеты и ракеты, компьютерные сети и др.). PDM-системы являются неотъемлемой частью PLM-систем и могут входить в состав конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и способны работать с разными САПР [5]. В горной отрасли такие системы имеют еще большее значение, так как средства ГГИС, как мы выяснили, применяются на всех этапах жизненного цикла подземного рудника или карьера, а также их совокупностей при комбинированной разработке.

В горном деле с помощью PDM-систем должно осуществляться управление большими массивами данных геологоразведки, инженерно-технической и горно-технологической информации, необходимых на всех этапах от поисковых геологических работ до ликвидации и консервации. PDM-системы должны интегрировать информацию любых форматов и типов, полученных из различных САПР и ГГИС, предоставляя ее пользователям в структурированном виде. Горные PDM-системы должны обеспечивать специалистов текстовыми и графическими документами, геометрическими моделями и данными, необходимыми для функционирования систем управления технологическими процессами. Все эти модели и документы при необ-

ходимости могут отображаться на экране монитора с помощью соответствующего ПО. Одной из целей PDM-систем является обеспечение возможности групповой работы над проектом, то есть, просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия. Например, при составлении плана горных работ используются модели месторождения (созданные геологической службой), модели текущего положения горных работ (маркшейдерская служба), модели ресурсов (плановый отдел, кадровая служба, службы главного механика и энергетика, и др.).

Еще одной интересной и динамично развивающейся автоматизированной технологией в строительстве является «Информационное моделирование здания» – BIM (Building Information Modeling или Building Information Model).

Информационное моделирование здания — это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонта здания (к управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект [6]. Другими словами, это трехмерная модель здания, либо другого строительного объекта, связанная с информационной базой данных, в которой каждому элементу модели можно присвоить дополнительные атрибуты. Особенность такого подхода заключается в том, что строительный объект проектируется как единое целое, а изменение какого-либо одного из его параметров влечет за собой автоматическое изменение остальных связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, спецификаций и календарного графика работ.

Такая концепция, с одной стороны, частично реализована во всех развитых ГГИС в виде геологических моделей и определяемых на их основе моделей карьеров и подземных рудников с множеством атрибутивной информации и превалированием 3D моделей над чертежами, с другой стороны, она не оформлена как методический подход для обеспечения жизненного цикла именно горного предприятия. Основная проблема заключается в том, что горная часть проекта предприятия включает такие сложные вопросы, как определение производительности и ее развитие во времени, оптимизация границ карьеров и шахтных полей, выбор системы разработки и определение ее

параметров, выбор способа вскрытия, структуры комплексной механизации и многих других. Эти задачи находятся в сложной взаимной связи друг с другом, и изменение параметров любой из них в большей или меньшей степени может повлиять на остальные. Основная цель такого подхода в горном деле (Информационное моделирование горных работ – ИМГР) будет заключаться в том, чтобы объект горных работ (карьер, подземный рудник) проектировался как единое целое, а изменение параметров и вариантов проектных решений приводило к автоматическому изменению остальных. Такой подход можно реализовать в рамках ГГИС, имеющих развитый набор инструментов для геологического моделирования, проектирования и планирования горных работ, единую объектную модель и средства доступа к базам данных.

Особое значение приобретают вопросы безопасности ведения горных работ в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях. Увеличение масштабов и производительности подземных и открытых горных работ, их углубление, приводят к необходимости организации средств мониторинга состояния природно-технических систем. Автоматизированные технологии сбора первичных данных мониторинга, их анализа и визуализации, принятия решений должны быть интегрированы со средствами моделирования объектов горной технологии, системами проектирования и планирования горных работ.

Заключение

Сравнительный анализ развития систем автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом его объектов в области машиностроения, строительства и горного дела показал, с одной стороны, на существенное отличие объектов проектирования и планирования горного производства от аналогичных в области машиностроения и строительства. С другой стороны, тенденция развития ПО, перечень и способы решения задач в рассматриваемых отраслях промышленности показывают близость используемых подходов и средств решения задач информационного обеспечения современного автоматизированного производства. Наблюдающееся отставание в развитии и использовании систем автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом на горнодобывающих предприятиях является объективным следствием использования менее стандартизованных и унифицированных подходов в решении задач инженерного обеспечения горных

работ, что постепенно должно быть приближено к практикам работы передовых машиностроительных производств и строительных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лу К.* Основы САПР (CAD/CAM/CAE) – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
2. *Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory // Bedrock.* [2014–2014]. Дата обновления: 13.08.2014. URL: <http://www.ggsd.com/ggsd/index.cfm> (дата обращения: 13.08.2014).
3. *Earth science and GIS software // Rockware.* [2014–2014]. Дата обновления: 13.08.2014. URL: <http://www.ggsd.com/ggsd/index.cfm> (дата обращения: 13.08.2014).
4. *PLM // Википедия.* [2014–2014]. Дата обновления: 03.04.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=62330797> (дата обращения: 29.07.2014).
5. *Жизненный цикл изделия // Википедия.* [2014–2014]. Дата обновления: 02.06.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=63413495> (дата обращения: 13.08.2014).
6. *Building Information Modeling – технологии XXI века // УЦСС.* [2014–2014]. Дата обновления: 13.08.2014. URL: <http://www.uscc.com.ua/ru/infocentr/stati-i-intervyu/building-information-modeling-tehnologii-xxi-veka.html> (дата обращения: 13.08.2014). **УИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Наговицын Олег Владимирович*¹ – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: Nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru,
*Лукичев Сергей Вячеславович*¹ – доктор технических наук, заместитель директора, e-mail: Lu24@goi.kolasc.net.ru,
¹ Горный институт Кольского научного центра РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 7, pp. 71–83.

UDC 622.012:
681.3.01:
519.67

O.V. Nagovitsyn, S.V. Lukichev
MINING AND GEOLOGICAL INFORMATION
SYSTEMS, AREAS OF APPLICATION
AND FEATURES OF BUILDING

The article addresses application of mining and geological information system software tools and gives examples of program products for mine planning and design. The comparative analysis of development in the field of automated life cycle design and control for objects and products in machine engineering, construction and mining has, on the one hand, pointed at considerable difference between the planning and design objects in mining and in machine engineering and construction. On the other hand, the tendency toward an advance in software support, and the problem list and solution methods in the mentioned industries reveal similarity of the approaches and methods

currently in use to handle issues of information support in the modern automated production. The article demonstrates features of CAD/CAM/CAE, PLM, PDM and BIM technologies in problem handling at different stages of life cycle of a mine.

Key words: MGIS, mining, CAD/CAM/CAE, database.

AUTHORS

*Nagovitsyn O.V.*¹, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,
e-mail: Nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru,

*Lukichev S.V.*¹, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director,
e-mail: Lu24@goi.kolasc.net.ru,

¹ Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.

REFERENCES

1. Li K. *Osnovy SAPR (CAD/SAM/SAE)* (Основы САПР (CAD/CAM/CAE)), Saint-Petersburg, Piter, 2004, 560 p.

2. Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory // Bedrock. [2014—2014]. Updated: 13.08.2014. URL: <http://www.ggsd.com/ggsd/index.cfm> (accessed: 13.08.2014).

3. Earth science and GIS software // Rockware. [2014—2014]. Updated: 13.08.2014. URL: <http://www.ggsd.com/ggsd/index.cfm> (accessed: 13.08.2014).

4. PLM // Википедия. [2014—2014]. Updated: 03.04.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=62330797> (accessed: 29.07.2014).

5. Жизненный цикл изделия // Википедия. [2014—2014]. Updated: 02.06.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=63413495> (accessed: 13.08.2014).

6. Building Information Modeling технологии XXI века // УЦСС. [2014—2014]. Updated: 13.08.2014. URL: <http://www.uscc.com.ua/ru/infocentr/stati-i-intervyu/building-information-modeling-tekhnologii-xxi-veka.html> (accessed: 13.08.2014).



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

НА 20-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ MINING WORLD RUSSIA-2016

