

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКИ

И.О. Темкин¹, Д.А. Клебанов², С.А. Дерябин¹, И.С. Конов¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: igortemkin@yandex.ru

² АО «ВИСТ Групп», Москва, Россия

Аннотация: Рассмотрена задача построения интеллектуальной геоинформационной системы (ГИС) для управления открытыми горными работами с использованием роботизированной и автономной горнотранспортной техники. Описаны функциональные задачи и возможности современных горно-геологических, диспетчерских и производственных систем для мониторинга и управления транспортно-технологическим процессом. Рассмотрены подходы к комплексированию разнотипной информации для построения интеллектуального управления открытыми горными работами с использованием роботизированной и беспилотной техники. Показан типовой состав бортовых комплексов беспилотных самосвалов, непрерывно обеспечивающих актуальной информацией о своем эксплуатационном состоянии. Проиллюстрирована концептуальная схема функционирования платформенной архитектуры интеллектуальной ГИС, а также схема информационного взаимодействия различных производственных агентов – горно-геологических, диспетчерских и производственных систем предприятия и объектов горнотранспортного комплекса. Сформулированы принципы и обосновано применение методов прогнозной аналитики в интеллектуальной ГИС для управления мультиагентной производственной системой. Демонстрируется возможность использования телеметрической и горно-геологической информации для решения широкого круга важных технологических задач, которые сводятся к интерпретации данных, идентификации объектов, диагностике параметров и состояний, управлению роботизированным взаимодействием. Показано, какие новые задачи технического обслуживания можно решить с помощью машинного обучения. Рассмотрены подходы к созданию универсального инструмента для автоматического предположения и проверки гипотез с использованием прогноза долговечности шины самосвала.

Ключевые слова: интеллектуальная геоинформационная система, открытые горные работы, прогнозная аналитика, роботизированный карьерный самосвал, ходимость шин.

Благодарность: Работа выполнена в рамках исследовательских работ по гранту Российского Научного Фонда (проект №19-17-00184).

Для цитирования: Темкин И. О., Клебанов Д. А., Дерябин С. А., Конов И. С. Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 114–125. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.

Construction of intelligent geoinformation system for a mine using forecasting analytics techniques

I.O. Temkin¹, D.A. Klebanov², S.A. Deryabin¹, I.S. Konov¹

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: igortemkin@yandex.ru

² VIST Group, Moscow, Russia

Abstract: Construction of an intelligent geoinformation system (GIS) for management of open pit mining site using robotic and self-contained mining and transportation equipment is discussed. The duties and capabilities of modern mining-and-geological, dispatching and production systems for monitoring and management of the transport process are described. The approaches to integration of various-type information towards the intelligent surface mining management using robotic and unmanned machines are reviewed. The standard structure of the onboard control systems of unmanned dump trucks, which continuously provide factual data on operating conditions, is presented. The conceptual flow chart of the intelligent GIS platform architecture as well as the flow chart of information interaction between different industrial agents—mining-and-geological, dispatching and production systems and objects of a mining and transportation system—are illustrated. The principles and application of the forecasting analytics techniques in intelligent GIS are formulated and justified for the multi-agent production system management. The usability of the telemetry and mining-and-geological data in solution of wide-range critical engineering problems connected with interpretation of information, identification of objects, diagnostics of parameters and conditions and robotic interaction management is demonstrated. It is shown which new maintenance tasks are solvable by the agency of computer learning. The approaches creating a universal tool of automated assumption and check of hypotheses through prediction of dump truck tyre life are considered.

Key words: intelligent geoinformation system, open-pit mining, forecasting analytics, robotic dump truck, tyre life.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 19-17-00184.

For citation: Temkin I. O., Klebanov D. A., Deryabin S. A., Konov I. S. Construction of intelligent geoinformation system for a mine using forecasting analytics techniques. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3):114-125. [In Russ]. 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.

Введение

Как известно, наиболее распространенным как в России, так и в странах дальнего и ближнего зарубежья является открытый способ добычи минерального сырья с использованием экскаваторно-автомобильного комплекса [1]. В условиях непрерывной интенсификации производственных мощностей карьеров соответствующим образом развивается и парк горнотранспортной техники [2, 3]. Так, в настоящее время в таких странах, как Австралия, Канада, ЮАР, наблюдается устойчивая тенден-

ция внедрения в процессы открытой разработки роботизированных самосвалов, а также беспилотных транспортных объектов [4]. По сравнению с существующими технологиями добычи и транспортировки полезных ископаемых, самосвалы-роботы могут обеспечить более высокую эффективность добычи полезных ископаемых, так как позволяют снизить эксплуатационные расходы за счет сокращения времени простоя оборудования из-за субъективных факторов. По экспертным оценкам, автоматизированная эксплуатация самосвалов позволяет

повысить ее производительность более чем на 20% [5, 6].

В тоже время, увеличивается стоимость и усложняется процесс обслуживания новой техники, ввиду чего ключевым условием для внедрения роботизированных и беспилотных технологий управления ГТК является возможность постоянного мониторинга ключевых показателей их эксплуатационного состояния [4, 6, 7]. При этом целью мониторинга должна быть не только оценка текущего состояния техники, но и прогнозирование и предупреждение нештатных ситуаций, а также планирование мероприятий по обслуживанию и ремонту. Современные карьерные самосвалы, оснащенные унифицированным бортовым оборудованием (в том числе: системой спутниковой навигации и связи, системой видеонаблюдения, системами удаленного мониторинга и диагностики машины), функционирующим на базе стандартизированных алгоритмов и программного обеспечения, предоставляют реальные возможности для дистанционного мониторинга и беспилотного управления [8].

Современные технологии диспетчерского управления карьерным транспортом

Несколько лет прошло с того момента, как российской компанией VIST Group и белорусским производителем самосвалов БелАЗ, был впервые разработан и представлен карьерный самосвал БЕЛАЗ с дистанционным управлением грузоподъемностью 130 т, оснащенный приводом постоянного тока. Для развития систем управления и более эффективного проектирования роботизированной техники в настоящее время сделаны дальнейшие шаги, состоящие в разработке многофункциональной диагностической системы, которая объединяет различные системы

автосамосвала в единое сетевое информационное пространство [6–8].

Это дает следующие преимущества:

- Гибкость управления благодаря возможности изменения конфигурации программного обеспечения блоков электронного оборудования и цифровой информационной сети при определенных условиях эксплуатации.
- Повышение эффективности диагностики и контроля посредством интеграции электрических систем, управления нагрузкой, гидравлики, видеонаблюдения и децентрализованной структуры.
- Расход материала за счет реализации распределенного управления (локальные модули ввода–вывода, расположенные на шасси и в кабине), что уменьшает количество контактных соединений и длину электрических проводов.
- Эффективный сервис — это доступ к довольно обширным диагностическим функциям (журналы событий, черный ящик, помощь при поиске неисправностей и т.д.), позволяющий более эффективно и быстро диагностировать и исправлять неисправности, а также прогнозировать их возникновение и предотвращать сбои дорогих узлов и агрегатов.
- Предупреждение об опасном поведении.

На рис. 1 представлены основные элементы современной системы мониторинга и управления карьерным самосвалом.

Эффективное использование самосвалов и всего горнотранспортного комплекса особенно актуально для руководителей компаний, эксплуатирующих несколько карьеров. Целью таких компаний является доведение результатов до наилучшей практики результатов, достигнутых компанией, и достижение лучших в мире показателей при максимальной экономии затрат и обеспечении высокого уровня возврата инвести-

Автономный мобильный агент a_1 (самосвал)				
Система управления движением	GPS/ГЛОНАСС модуль	Акселерометр	Инклинометр	Одометр
Система видеонаблюдения	Фронтальный дальномер	Левый фронтальный датчик нагрузки	Левый фронтальный датчик давления в шине	Датчик уровня топлива
Система управления фарами	Левый боковой дальномер	Правый фронтальный датчик нагрузки	Правый фронтальный датчик давления в шине	Датчик освещенности
Система самодиагностики	Правый боковой дальномер	Левый задний датчик нагрузки	Левый задний датчик давления в шине	Датчик температуры
Комбинируемая система передачи данных	Задний дальномер	Правый задний датчик нагрузки	Правый задний датчик давления в шине	Датчик подъема кузова

Рис. 1. Основные элементы систем управления и самодиагностики роботизированных самосвалов
 Fig. 1. Basic elements in the systems of control and self-check of robotic dump trucks

ций. Таким образом, чрезвычайно актуальной становится задача разработки интеллектуальной геоинформационной системы, способной на основе единой платформы осуществлять решение всего комплекса аналитических и управленческих задач, связанных с работой горнотранспортного оборудования.

Платформа интеллектуальной геоинформационной системы

В настоящее время на основе принципов поэтапного расширения возможностей горно-геологических, диспетчерских и производственных систем горного предприятия в контексте интеграции роботизированного оборудования и использования современных технологий анализа и обработки данных (геологических, эксплуатационных, технологических, спутниковых и др.) нами разрабатывается платформа интеллектуальной геоинформационной системы для управления горнотранспортным комплексом как вспомогательный, а в ближайшей перспективе, основной компонент

управления открытыми горными работами.

Этапы, характеризующие растущие возможности системы, определяются в зависимости от требований к оперативности задач управления и достигнутого уровня автономности («беспилотности») технологического оборудования и всего процесса управления, а именно:

- централизованный диспетчерский контроль, основанный на моделях оперативного планирования и управления горнотранспортной техникой;
- супервизорный контроль частично роботизированного горного оборудования на основе комплексирования сенсорных и горно-геологических данных;
- комплексное управление функционированием роботизированных блоков с широким спектром функций (диагностика, интерпретация, идентификация, прогнозирование);
- дистанционное управление роботизированным оборудованием;
- супервизорный контроль автономных карьерных механизмов.

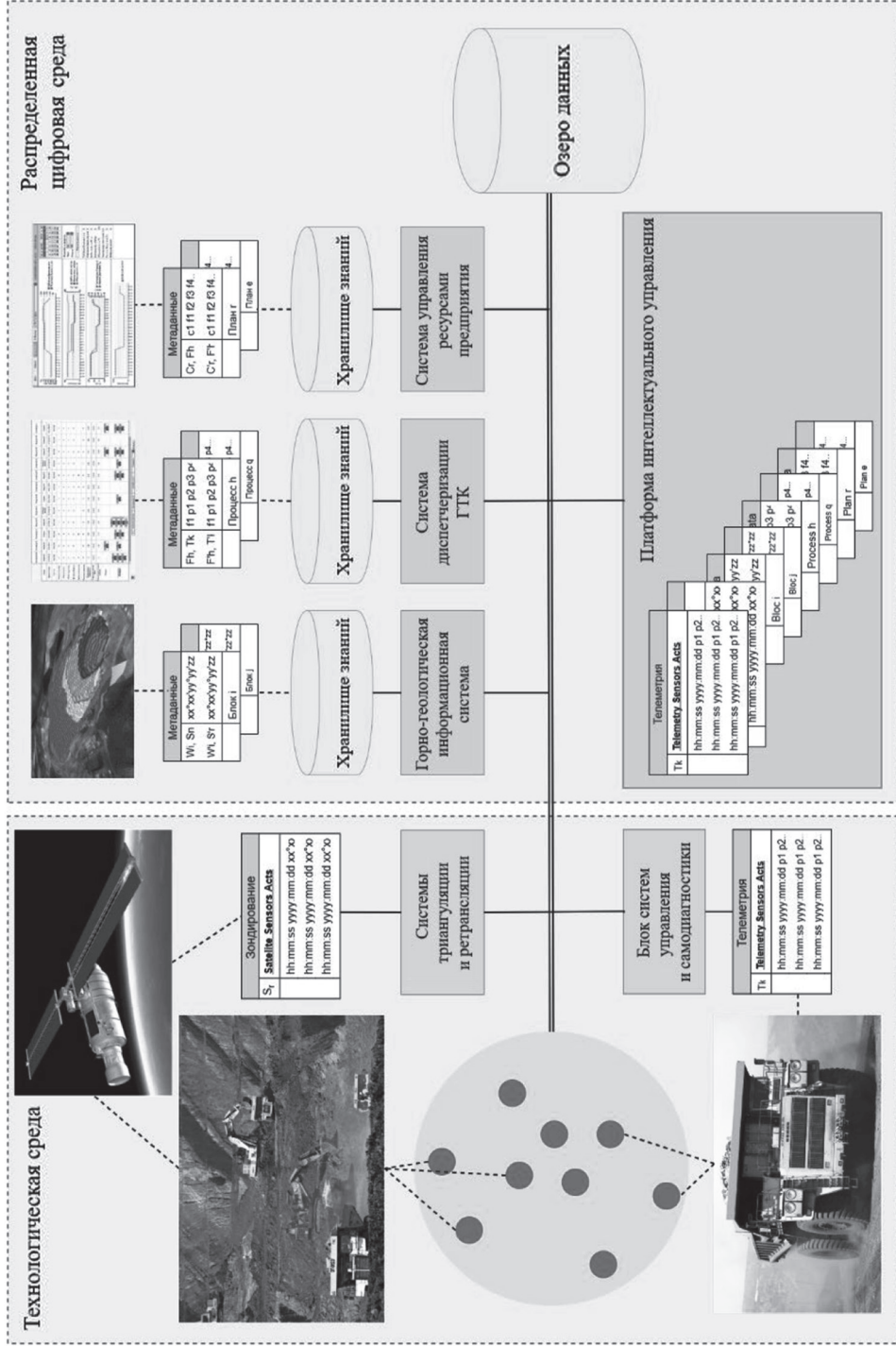


Рис. 2. Концептуальная схема функционирования платформы
Fig. 2. Conceptual flow chart of platform

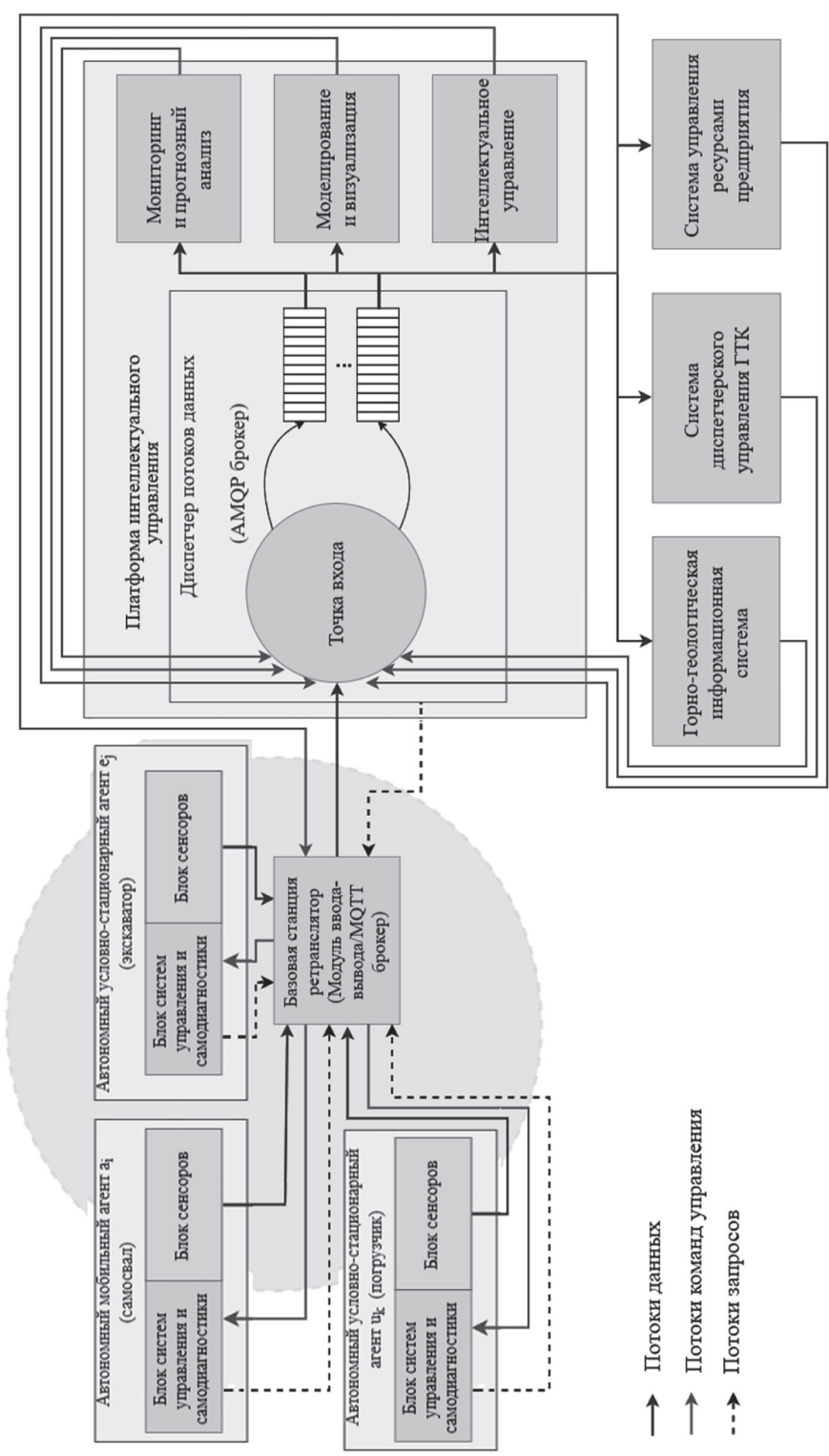


Рис. 3. Схема информационного взаимодействия агентов
 Fig. 3. Flow chart of information interaction between agents

При разработке системы рассматривается комплекс взаимодействующих интеллектуальных агентов, которые имеют различные модели поведения и существенно отличаются параметрами [9, 10].

Интеллектуальные агенты представляют собой комплекс программных модулей, которые обмениваются входной и выходной информацией [9–11] и корректируют свое функционирование в процессе взаимодействия. В системе используется несколько классов агентов:

- агент-оператор (брокер) способен формировать ситуативную модель без взаимодействия с человеком, собирая, накапливая и сортируя различные факты, события и ситуации от других агентов и взаимодействуя с ними, способный выбрать лучшую стратегию для достижения своей цели;

- инфраструктурные агенты — квазистатические элементы технологической среды: погрузочные площадки, дороги, транспортные развязки и т.д. Каждый из этих агентов описывается массивом параметров, а взаимодействие других агентов с ними сопровождается соответствующим набором правил;

- рефлексивные автономные агенты — это системные элементы, поведение которых основано на условиях окружающей среды и информации от других агентов. Все сенсорные элементы (датчики), а также роботизированные устройства, такие как тяжелые грузозахваты, экскаваторы, конвейерные ленты, машины для технического обслуживания, относятся к этому классу.

Автономное функционирование и взаимодействие агентов основано на двух базовых моделях: когнитивной, которая используется для описания поведения агента и условий выбора стратегии; и вычислительной, которая используется для обработки информации, получаемой от агента, интерпретации состояния агента и технологических ситуаций, оп-

тимизации планирования агента, идентификации, а также оптимизации параметров базы данных [9, 11].

Функционирование системы существенным образом зависит от информационной базы данных, которая формируется с использованием стационарных систем контроля и управления, бортовых систем телеметрии, а также систем спутникового дистанционного зондирования, горно-геологических и производственных систем [3, 5, 12, 13]. В настоящее время, как отмечено ранее, наиболее важным элементом являются бортовые вычислительные комплексы автосамосвалов. Постоянное перемещение автосамосвалов по производственной зоне позволяет собирать данные не только о самом мобильном объекте [14], но и об окружающей его среде [15]. Собранные данные могут обрабатываться бортовыми компьютерами в режиме реального времени и передаваться на удаленные серверы для более подробного анализа.

Эти телеметрические данные могут быть сгруппированы по нескольким сегментам с учетом их роли, которая представлена различными параметрами в системе управления:

- данные о позиционировании мобильного объекта;

- параметры, характеризующие функционирование мобильного объекта (уровень топлива, нагрузка, скорость движения, нагрузка на подвеску и т.д.);

- индикаторы характера движения объекта — акселерометры;

- данные дистанционного мониторинга, описывающие положение объекта относительно других объектов среды.

Задачи прогнозной аналитики и конкретный пример

Рассмотрим сценарий задачи прогнозной аналитики, которая может быть успешно решена в рамках интеллекту-

альной геоинформационной системы для управления горнотранспортными комплексами карьеров. Система планирования горных работ формирует план для экскаваторов на каждую смену с учетом предполагаемых объемов производственных и вскрышных работ. Автосамосвалы с учетом их паспортных характеристик и технических коэффициентов готовности должны распределяться в соответствии с этими объемами. Однако, поскольку система диспетчеризации автотранспорта карьера получает информацию о реальной ситуации с горнотранспортным оборудованием и его использовании в течение смены, появляется возможность на основании фактических данных телеметрии анализировать конкретные причины, вызвавшие изменение производительности [3, 11, 13–15].

Одной из актуальных задач, связанных с диагностикой оборудования и оптимизацией режимов его работы, является задача повышения ресурса использования шин, являющихся весьма дорогостоящим элементом горнотранспортного оборудования.

Эта задача может быть решена на основе использования больших объемов статистической информации и инструментов прогнозной аналитики. Суть задачи заключается в определении всех факторов, оказывающих значимое влияние на срок службы («ходимость») шины, и построении оптимальной модели в заданном классе (множественные линейные или полиномиальные), обеспечивающей максимально достоверный прогноз срока службы шины. Если опираться только на такие параметры, как температура и давление в шинах, то, скорее всего, можно будет только констатировать те или иные виды поломок, но не выявить причины и оценить реальную степень изношенности шин. Информации, накопленной только в датчи-

ках, установленных в этих шинах, недостаточно. Для анализа и прогнозирования используются также такие параметры, как: пробег каждой шины, состояние карьерных дорог (углы дороги, радиусы, нарушения дорожного полотна и т.д.), условия, в которых эти шины эксплуатировались (горно-геологическая информация), данные о водителях, которые управляли самосвалами со дня установки шин. Необходимо проанализировать все возможные актуальные данные о сроке службы шин. Таким образом, когда все основные и вспомогательные данные анализируются для принятия прогнозных решений и происходит некоторый инцидент, то математическая модель должна быть способной адекватно описывать связь данных с инцидентом.

Кратко рассмотрим процедуры, используемые для прогнозирования долговечности шин. Исходные данные для решения задачи могут накапливаться в течение продолжительного периода времени (месяцы, год, несколько лет). Элементами такой таблицы являются записи e_1, e_2, \dots, e_n (в нашем случае количество записей составило более 120 000), которые содержат информацию о рабочей нагрузке шин (модель шины, идентификатор), установленной на конкретном автосамосвале (модель грузовика, идентификатор грузовика, идентификатор водителя) на определенном временном интервале. Исходная таблица также содержит информацию о состоянии шин к концу смены. Возможные варианты: {нормальное состояние, плановая замена, взрыв в течение смены, ремонт в результате прокола, разреза или других повреждений}. Исходную таблицу затем можно преобразовать в несколько интегральных таблиц, которые используются для проверки гипотез, связанных с влиянием различных факторов на состояние шин.

В исходной группе факторов Z_1, Z_2, \dots, Z_{m_2} определен набор ключевых параметров l_1, l_2, \dots, l_{m_1} , которые используются для формирования наборов, необходимых для проверки различных гипотез, и могут рассматриваться как предикаты вида: $l_1(A_1), l_2(A_2), \dots, l_{m_1}(A_{m_1})$, где A_1, A_2, \dots, A_{m_1} — переменные объекта и $a_{11}, \dots, a_{1k_1}, a_{21}, \dots, a_{2k_2}, a_{m_1 1}, \dots, a_{m_1 k_{m_1}}$ их значения.

X_1, X_2, \dots, X_{m_2} — количественные параметры, которые соответствуют определенным режимам работы и выступают в качестве независимых параметров (номинальные признаки), используемых в качестве исходного материала для построения и тестирования прогнозных моделей.

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{m_3}\}$ — набор возможных причин списания шин.

Исходная информационная база (таблица) может быть представлена следующим образом:

$$W \subseteq l_1 * \dots * l_{m_1} * X_1 * \dots * X_{m_2} * D \quad (1)$$

Мы предполагаем, что:

- Существует возможность и соответствующие наборы инструментов для создания правил классификации. Они обеспечивают стабильную классификацию объектов по типам повреждений шин на основе анализа эксплуатационных характеристик:

$$H_1 : \exists F(x_1, x_2, \dots, x_p) = \tilde{y} : \begin{cases} y < \delta_F \rightarrow D_i \\ y \geq \delta_F \rightarrow \bar{D}_i \end{cases}, \quad (2)$$

где D_i — один из типов отказов шин.

- Существует модель, которая позволяет связывать режимы работы шин и продолжительность их работы для конкретного объекта (модель грузовика, модель шины, водитель):

$$H_2 : \hat{X}_i = \varphi \left\{ x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_{m_2}, P(l_1, \dots, l_{m_1}) \right\} \quad (3)$$

где $P(l_1, \dots, l_{m_1})$ — это процедура для формирования (настройки) обучающих таблиц («датасеты»), соответствующих тестируемой гипотезе.

Эта процедура запускает первый этап механизма обработки и проверки гипотез — автоматическую генерацию обучающих наборов данных.

Например, проверка каждой из нижеприведенных гипотез «выносливость шины» (длительность эксплуатации шины без поломок) зависит от: h_1 — модели шины; h_2 — места установки шин на автосамосвале (например, передняя левая); h_3 — конкретных водителей, которые управляли автосамосвалом и, соответственно, исследуемой шиной; и подразумевает, что будет сформирована конкретная таблица для обучения: $P(l_1, \dots, l_{m_1})$.

Второй этап работы механизма — проверка гипотез, в том числе выбор оптимальной структуры многопараметрической полиномиальной модели с использованием критериев, учитывающих «значимость факторов», «сложность модели» и «статистическую погрешность на обучающем наборе».

Автоматизированная процедура проверки гипотез $\langle W, P, K_S, K_E \{LPA\}$ была реализована с использованием библиотек с открытым исходным кодом, включающих более 150 базовых инструментов для решения различных задач прогнозной аналитики.

В результате вычислительных экспериментов были определены факторы (всего 21), оказывающие влияние на работоспособность шины на каждом интервале ее жизненного цикла, а также вычислены: средняя ходимость по различным типам шин (от 60 000 км до 100 000 км) и достоверность прогнозной оценки время списания шины, которая изменялась в диапазоне от 85% до 95%, что, на наш взгляд является приемлемым результатом.

Заключение

Современные горно-геологические, диспетчерские и производственные системы горнодобывающих предприятий формируют огромные массивы информации, позволяющие строить предиктивные модели, связанные с техническим обслуживанием и эксплуатацией роботизированной техники, включая: прогнозирование ремонтов, прогнозирование поставок запчастей и комплектующих, маршрутизации самосвалов и многие другие. Для обеспечения высокоточных решений этих задач критически важно использовать всю доступную релевантную информацию (телеметрию оборудования, данные дистанционного зондирования и др.) горнодобывающего предприятия, при этом минимизировать количество параметров задачи, сохраняя максимальную информативность признаков. Непосредственное комплек-

сирование и интеллектуальная сортировка такой информации может быть достигнута с использованием платформенного подхода для построения интеллектуальной геоинформационной системы.

Представленный пример хорошо иллюстрирует эти возможности применительно к задаче прогнозирования сроков службы автомобильных шин. Сочетание мультиагентного подхода с возможностью обрабатывать и анализировать различные виды технологической, горно-геологической, оперативной диспетчерской информации открывают новые перспективы для реализации механизмов управления информационными потоками и создания новых программных инструментов интеллектуального управления горнотранспортными процессами с использованием технологий цифрового дублирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Efremenkov A. B., Khoreshok A. A., Zhironkin S. A., Myaskov A. V. Coal mining machinery development as an ecological factor of progressive technologies implementation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 50(1), 012009.
2. Трубецкой К. Н., Владимиров Д. Я., Пыталев И. А., Попова Т. М. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горный журнал. — 2017. — № 11. — С. 60–64.
3. Трубецкой К. Н., Владимиров Д. Я., Пыталев И. А., Попова Т. М. Роботизированные горнотехнические системы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. — 2016. — № 5. — С. 21–27.
4. Marshall J. A., Bonchis A., Nebot E., Scheduling S. Robotics in mining / Springer handbook of robotics. Siciliano B. et al. (Ed.), 2016, Pp. 1549–1576.
5. Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В., Владимиров Д. Я. От системы «Карьер» к новому интеллектуальному укладу открытых горных работ // Проблемы недропользования. — 2019. — № 3. — С. 39–48.
6. Варичев А. В., Кретов С. И., Исмагилов Р. И., Бадтиев Б. П., Владимиров Д. Я. Комплексный подход к интеллектуальным системам управления горным производством // Горная промышленность. — 2016. — № 3 (127). — С. 4–7.
7. Темкин И. О., Клебанов Д. А. Интеллектуальные системы управления горнотранспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — СВ 1. — С. 257–266.
8. Темкин И. О., Куляница А. Л., Дерябин С. А. Вычислительные модели взаимодействия автономных мобильных агентов транспортного комплекса горных предприятий // Информация и космос. — 2017. — № 2. — С. 65–70.

9. Kammoun H.M., Kallel I., Casillas J., Abraham A., Alimi A.M. Adapt-Traf: An adaptive multiagent road traffic management system based on hybrid ant-hierarchical fuzzy model // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2014, Vol. 42, Pp. 147–167.

10. Волкова Е.А., Дружинин А.В., Полузадов В.Н., Копанев А.А. Управление горным предприятием на основе мультиагентного подхода // *Universum: Технические науки*. – 2016. – № 10 (31). – С. 11–15.

11. Jiang B., Fei Y. Vehicle speed prediction by two-level data driven models in vehicular networks // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, Vol. 18, No 7, Pp. 1793–1801.

12. Kiziroglou M.E., Boyle D.E., Yeatman E.M., Cilliers J.J. Opportunities for sensing systems in mining // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2016, Vol. 13, No 1, Pp. 278–286.

13. Jhavian R., Brito L., Behzadan A. Integrated mobile sensor-based activity recognition of construction equipment and human crews / *Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure*, 2015, Pp. 1–20.

14. Dadonov M., Kulpin A., Ostanin O., Suleimenov E. Distribution of static normal reactions to wheels of open-pit dump trucks depending on the longitudinal and cross sections of the open-pit road // *E3S Web of Conferences. International Innovative Mining Symposium*. 2019, Vol. 105, 03009. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503009.

15. Темкин И.О., Клебанов Д.А., Дерябин С.А., Конов И.С. Метод определения состояния технологических дорог карьера при управлении взаимодействием роботизированных элементов горнотранспортного комплекса // *Горный журнал*. – 2018. – № 1. – С. 78–82. **ТИАБ**

REFERENCES

1. Efremenkov A.B., Khoreshok A.A., Zhironkin S.A., Myaskov A.V. Coal mining machinery development as an ecological factor of progressive technologies implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, Vol. 50(1), 012009.

2. Trubetskoy K.N., Vladimirov D.Ya., Pytalev I.A., Popova T.M. Provisions and prospects for introduction of robotic geotechnologies in open pit mining. *Gornyy zhurnal*. 2017, no 11, pp. 60–64. [In Russ].

3. Trubetskoy K.N., Vladimirov D.Ya., Pytalev I.A., Popova T.M. Robotic systems for open pit mineral mining. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 5, pp. 21–27. [In Russ].

4. Marshall J.A., Bonchis A., Nebot E., Scheduling S. Robotics in mining. *Springer handbook of robotics*. Siciliano B. et al. (Ed.), 2016, Pp. 1549–1576.

5. Trubetskoy K.N., Ryl'nikova M.V., Vladimirov D.Ya. From the system «Pit» to the new intellectual structure of open cast minig. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2019, no 3, pp. 39–48. [In Russ].

6. Varichev A.V., Kretov S.I., Ismagilov R.I., Badtiev B.P., Vladimirov D.Ya. An integrated approach to intelligent systems of mining management. *Gornaya promyshlennost'*. 2016, no 3 (127), pp. 4–7. [In Russ].

7. Temkin I.O., Klebanov D.A. Intelligent control systems for mining and transport complexes: current state, tasks and solutions. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. Special edition 1, pp. 257–266. [In Russ].

8. Temkin I.O., Kulyanitsa A.L., Deryabin S.A. Autonomous mobile agents interaction computing models for mining and transportation facility. *Informatsiya i kosmos*. 2017, no 2, pp. 65–70. [In Russ].

9. Kammoun H.M., Kallel I., Casillas J., Abraham A., Alimi A.M. Adapt-Traf: An adaptive multiagent road traffic management system based on hybrid ant-hierarchical fuzzy model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2014, Vol. 42, Pp. 147–167.

10. Volkova E.A., Druzhinin A.V., Poluzadov V.N., Kopanov A.A. Mining management on the multiagent approach. *Universum: Tekhnicheskie nauki*. 2016, no 10 (31), pp. 11–15. [In Russ].

11. Jiang B., Fei Y. Vehicle speed prediction by two-level data driven models in vehicular networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, Vol. 18, No 7, Pp. 1793–1801.

12. Kiziroglou M.E., Boyle D.E., Yeatman E.M., Cilliers J.J. Opportunities for sensing systems in mining. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2016, Vol. 13, No 1, Pp. 278–286.

13. Jhavian R., Brito L., Behzadan A. Integrated mobile sensor-based activity recognition of construction equipment and human crews. *Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure*, 2015, Pp. 1–20.

14. Dadonov M., Kulpin A., Ostanin O., Suleimenov E. Distribution of static normal reactions to wheels of open-pit dump trucks depending on the longitudinal and cross sections of the open-pit road. *E3S Web of Conferences. International Innovative Mining Symposium*. 2019, Vol. 105, 03009. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503009.

15. Temkin I.O., Klebanov D.A., Deryabin S.A., Konov I.S. Haul road condition determination under controlled interaction of robotic elements in open pit mining and transport system. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 1, pp. 78–82. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Темкин Игорь Олегович¹ — д-р техн. наук, профессор,

зав. кафедрой, e-mail: igortemkin@yandex.ru,

Клебанов Дмитрий Алексеевич — канд. техн. наук,

директор по развитию, АО «ВИСТ Групп»,

Дерябин Сергей Андреевич¹ — зав. лабораторией,

Коннов Илья Сергеевич¹ — старший преподаватель,

¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Темкин И.О., e-mail: igortemkin@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

I.O. Temkin¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Head of Chair, e-mail: igortemkin@yandex.ru,

D.A. Klebanov, Cand. Sci. (Eng.), Development Director,

VIST Group, Moscow, Russia,

S.A. Deryabin¹, Head of Laboratory,

I.S. Konov¹, Senior Lecturer,

¹ National University of Science and Technology «MISIS»,

119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: I.O. Temkin, e-mail: igortemkin@yandex.ru.

Получена редакцией 22.11.2019; получена после рецензии 30.12.2019; принята к печати 20.02.2020.

Received by the editors 22.11.2019; received after the review 30.12.2019; accepted for printing 20.02.2020.

