

# Цифровые советчики для угольной промышленности. Методология внедрения\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-112-115>

## КЛЕБАНОВ Д.А.

Канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией  
ИСиЦм ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: Klebanov\_d@ipkonran.ru

## МАКЕЕВ М.А.

Управляющий директор Piklema,  
младший научный сотрудник  
ИПКОН РАН,  
управляющий директор Piklema,  
107078, г. Москва, Россия,  
e-mail: mm@piklema.com

В статье определены факторы, которые указывают на актуальность проблемы нахождения новых инструментов эффективной и безопасной добычи твердых полезных ископаемых на базе развития методов прогнозной аналитики. Данные методы учитывают тренды в анализе больших данных в горнодобывающей отрасли. Приведен пример реализации нового класса информационных систем – цифровых советчиков, исходными данными для которых является информация существующих на горных предприятиях систем диспетчеризации, MES. В статье приведены методология запуска инициатив применения прогнозной аналитики для оптимизации производства, а также порядок внедрения цифровых советчиков для водителей карьерных самосвалов.

**Ключевые слова:** угольная промышленность, цифровые советчики, АСУ ГТК, Большие Данные, аналитические системы, система диспетчеризации ГТК, искусственный интеллект.

**Для цитирования:** Клебанов Д.А., Макеев М.А. Цифровые советчики для угольной промышленности. Методология внедрения // Уголь. 2022. № 8. С. 112-115. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-112-115.

## ВВЕДЕНИЕ

Топливо-энергетический комплекс и угольная промышленность России, стоят на пороге серьезной цифровой трансформации. Стремительное развитие цифровых технологий приводит к тому, что ожидания работников угледобывающих предприятий, горных инженеров и управленцев быстро меняются, поскольку они подвергаются воздействию новых технологических решений и сервисов. Возникающие при этом социальные и экономические эффекты носят радикальный характер, преобразующий традиционные способы ведения бизнеса и организации процессов управления производством. Целевые показатели цифровой трансформации угольной отрасли определяются показателями, перечисленными в «Долгосрочной программе развития угольной промышленности России на период до 2030 года» и связаны с увеличением производительности труда, повышением конкурентоспособности угольных компаний, повышением уровня промышленной и экологической безопасности в отрасли; увеличением объема поступлений в бюджет от предприятий отрасли.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В угледобывающей промышленности России и мире существуют объективные предпосылки, которые влияют на эксплуатационные затраты добычи и транспортировки угля открытым способом. В первую оче-

\* Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-17-00142.

редь к таким факторам относятся нехватка квалифицированного персонала, неэффективное использование горного оборудования и техники, выражающееся в широком разбросе показателей нетехнологических простоев, грузооборота, КИО в разные смены и месяцы, что характеризуется проблемами качества оперативного управления горным производством. Во многом факторы эффективности оперативного управления техникой на угледобывающих предприятиях могут решаться наставничеством, программами повышения квалификации линейного персонала и горных инженеров, организацией вахтовых смен со сдельной схемой мотивации от выработанных объемов производства, а также соблюдением всех технологических регламентов. В последние пять лет за счет широкого внедрения технологий связи, навигации и ИТ, сбора данных о состоянии и производственных показателях работы техники практически для всех процессов производства появляются принципиально новые инструменты управления, которые на основе искусственного интеллекта и анализа Больших Данных позволяют нивелировать квалификацию персонала за счет своевременных подсказок о режимах управления техникой и ее состоянии.

Применяемые цифровые технологии определяются областью задач, на решение которых направлено их внедрение: сбор информации о технологических процессах (различные датчики), управление и оптимизация производственных процессов (MES, SCADA, АСУ ГТК), планирование и управление ресурсами и активами предприятия (EAM, ERP и др.), управление промышленной безопасностью, «сквозные» цифровые технологии (робототехника, искусственный интеллект, предиктивная аналитика, виртуальная и дополненная реальность, видеоаналитика и т.д.). Данные технологии применимы для большинства процессов производства и в зависимости от предприятия и готовности производства покрывают технологический процесс, начиная от буровзрывных работ, заканчивая обогащением. Ключевым процессом для внедрения цифровых технологий на открытых горных работах является управление горнотранспортным комплексом, в угольных шахтах – работа очистных и проходческих комбайнов.

В данной статье, мы хотим остановиться на новых инновационных технологиях на основе прогнозной аналитики для угольной промышленности, а именно цифровых советчиках операторам техники: водителям карьерных самосвалов, машинистам горной техники (экскаваторы, буровые станки), шинным инженерам, машинистам комбайнов и др.

Цифровые советчики – это системы, которые анализируют историю работы техники на основе собранной статистики в информационных системах и выделяют те режимы, в которых оборудование или техника наиболее эффективно эксплуатировались. Далее на основе сопоставления оптимальных режимов работы техники со временем и другими параметрами, влияющими на работу оборудования, выдаются рекомендации операторам по корректировке стилей управления оборудованием. Для каждого типа техники и оборудования эффектив-

ность определяется по-разному, поэтому перед решением о внедрении того или иного цифрового советчика нужно проанализировать историю работы оборудования и посмотреть разницу в эффективности управления для всех операторов. Если разница в эффективности оборудования составляет пять и более процентов, то применение прогнозной аналитики для выявления оптимальных режимов и составления рекомендаций целесообразно. Для примера рассмотрим работу цифрового советчика для водителей карьерных самосвалов.

Цифровой советчик для водителей карьерных самосвалов оповещает водителей в режиме реального времени об оптимальной скорости, ускорении для каждого из участков технологической дороги в течение смены. Целью внедрения цифрового советчика является сокращение удельного расхода топлива карьерных самосвалов за счет подсказок водителю оптимальной скорости движения на каждом участке дороги, при этом увеличивается производительность карьерного транспорта за счет повышения средней скорости движения грузежом.

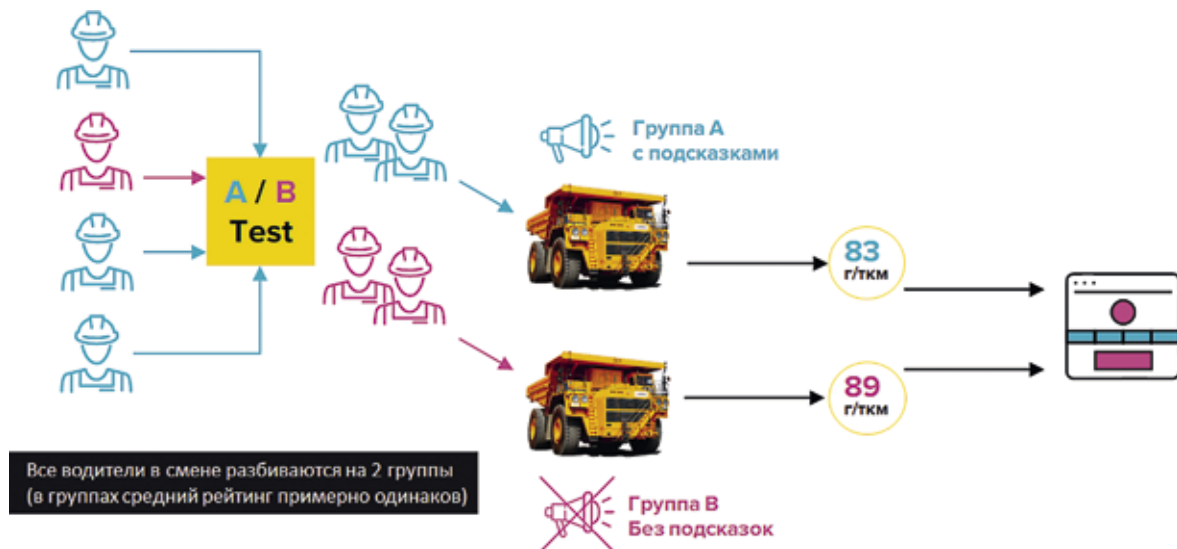
За счет чего достигается снижение удельного расхода топлива при движении карьерного самосвала? Оказывается, стиль вождения влияет примерно на 7-15% общих затрат карьерного транспорта на топливо, то есть разница в квалификации вождения на одних и тех же маршрутах и типах техники может составлять более 10% от общих затрат на топливо, что составляет для карьерных самосвалов грузоподъемностью 130 т и более до 2 млн руб. в год.

Также правильные режимы вождения и средняя скорость в течение смены влияют на производительность или количество рейсов карьерных самосвалов, ходимость шин, надежность работы узлов карьерных самосвалов. Данная система основана на сборе и анализе информации по мгновенному расходу топлива, загрузке, высоте подъема, простоям, маршрутам движения, прогнозу погоды и другой информации, получаемой из системы диспетчеризации или из бортовой системы карьерного самосвала.

Необходимость установки датчиков и полнота данных для построения прогнозных моделей определяются специалистами в области анализа данных и прогнозной аналитики. Оптимальные скоростные режимы по маршруту определяются с помощью математического моделирования и анализа статистики движения идентичных карьерных самосвалов по данным участкам дороги и включают сведения о необходимой оптимальной скорости входа на следующий участок (например, разгон перед подъемом), с учетом максимальной разрешенной скорости движения для решения задач увеличения производительности.

После определения правильных скоростных режимов и базы для подсказок разрабатывается виртуальная карта выдачи рекомендаций по участкам маршрутов. Данная карта загружается в бортовой компьютер для выдачи рекомендаций. Данный функционал работает даже при неполном покрытии связью всего карьера, так как сравниваются текущая скорость, направление движения и местоположение с загруженной в контроллере картой.

В этом примере описана суть цифрового советчика, который является интеллектуальным подсказчиком, спо-



Метод А/В-тестирования в оценке результатов применения цифровых советчиков в горной промышленности

собным принимать решения о стиле движения применительно к рельефу на основании опыта и анализа рейсов не только одного самосвала, а разных данного типа по идентичным маршрутам. Фактически технологии прогнозной аналитики заменяют опытного водителя-наставника, позволяя даже новым сотрудникам сразу добиваться максимальной эффективности грузоперевозок по маршруту.

Оценка потенциального эффекта от использования системы осуществляется на первом этапе внедрения после сбора статистики о расходе топлива и определения факторов, влияющих на расход, с помощью математического анализа. Оценка фактического эффекта от внедрения системы осуществляется методом А/В-тестирования (см. рисунок): сравнение среднего удельного расхода топлива самосвалов по тестовой и контрольной группам в один и тот же период времени и в схожих условиях эксплуатации.

Перед началом тестирования водителей делят на две группы – тестовая группа (группа А) и контрольная группа (группа В). При проведении тестирования водителям тестовой группы выдаются рекомендации от системы, а водителям контрольной группы – не выдаются. После набора необходимой статистической выборки производится сравнение среднего удельного расхода топлива самосвалов у водителей групп А и В. Разница в удельном расходе топлива между самосвалами групп А и В при движении на схожих маршрутах в период тестирования принимается за эффект. Данный эффект показывает оценку снижения удельного расхода топлива самосвалов, если использовать систему рекомендаций. Оценка эффекта внедрения системы осуществляется отдельно для каждой модели самосвала с учетом типа двигателя.

Данный принцип анализа истории работы техники и сопоставление ее с конкретным оператором и факторами, влияющими на технологический процесс, могут ле-

жать в основе цифровых советчиков персоналу, управляющему другой техникой или процессом:

- механикам по эксплуатации и обслуживанию шин, двигателей, других узлов и агрегатов;
- машинистам экскаваторов и буровых станков;
- машинистам железнодорожного транспорта;
- операторам аэро-газового контроля в угольных шахтах;
- операторам комбайнов угольных шахт;
- горным диспетчерам на основе анализа истории движения техники и сопоставления с планами горных работ.

Рассмотрим на примере цифрового советчика для водителя методологию и этапы внедрения и оценки результатов.

Первый этап: оценка возможного эффекта и запуска проекта внедрения цифрового советчика и анализ исторических данных работы техники или оборудования с выявлением разницы результатов лучших и худших операторов техники.

Второй этап: сбор данных и построение прогнозной модели, анализ достаточности данных и период хранения данных для построения прогнозной модели. При отсутствии достаточности данных или низкой достоверности прогнозной модели – выявление зависимости факторов, влияющих на искомую величину (в случае советчика для водителя карьерных самосвалов – удельный расход топлива), принятие решения о технической возможности сбора недостающих данных путем установки дополнительного оборудования или организации других механизмов сбора и хранения данных (частота сбора и периоды хранения).

Третий этап: анализ и оценка технической архитектуры выдачи онлайн-рекомендаций для операторов техники и процессов.

Четвертый этап: интеграция цифрового советчика с актуальной прогнозной моделью в производственный процесс предприятия.

Пятый этап: анализ корректности рекомендаций, верификация у персонала эффективности подсказок.

Шестой этап: оценка фактического эффекта методом А/В-тестирования, для фильтрации эффекта применения цифрового советчика от других возможных факторов (в случае с цифровым советчиком для водителей карьерных самосвалов: погода, время суток, качество дорог и др.)

Уже сегодня в горнодобывающей промышленности России такие цифровые советчики разрабатывают рекомендации водителям самосвалов, машинистам экскаваторов, инженерам, диспетчерам и руководству компаний в части того, как управлять технологическими процессами, анализируя десятки параметров за большие периоды времени и экстраполируя сценарии будущего на основе анализа ситуаций прошлых периодов. Дальнейшее развитие таких систем состоит в том, чтобы в полной мере понимать возможности повышения эффективности производства на основе уже собираемых данных, анализируя, которые можно не только фиксировать прошедшие и текущие состояния технологических процессов, но и экстраполировать, строить модели развития процессов в будущем. Такой подход позволяет избежать человеческого фактора в принятии решений при управлении дорогостоящей техникой, оборудованием, а также заранее спрогнозировать наиболее оптимальное состояние и дать определенные рекомендации персоналу в работе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В завершение важно отметить, что основной исследовательской задачей при построении и внедрении цифровых советчиков в горной промышленности является сбор и классификация источников данных о состоянии и режимах горного оборудования и техники. Когда все источники будут классифицированы, предприятия смогут формировать принципы проектирования горных работ и процессов с учетом требований к бортовым программно-аппаратным комплексам и формируемым данным, типам их хранения и сбора. Цифровые же советчики строятся на существующей инфраструктуре, используя принципы работы с данными в решении задач оптимизации управления техникой, но данные задачи оптимизации должны быть сформулированы для каждого из процессов и типов оборудования.

## Список литературы

1. Современные системы управления горнотранспортными комплексами / К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов и др. СПб: Наука, 2007. 306 с.
2. Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техники / К.Н. Трубецкой, М.В. Рылникова, Д.А. Клебанов и др. // Горная промышленность. 2017. № 5. С. 27-30.

Original Paper

UDC 622.271.68.002.611 © D.A. Klebanov, M.A. Makeev, 2022  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 8, pp. 112-115  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-112-115>

## Title DIGITAL ADVISERS FOR THE COAL INDUSTRY. METHODOLOGY OF IMPLEMENTATION

### Authors

Klebanov D.A.<sup>1</sup>, Makeev M.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> IPKON RAS, Moscow, 111020, Russian Federation

<sup>2</sup> Piklema LLC, Moscow, 107078, Russian Federation

### Authors Information

**Klebanov D.A.**, PhD (Engineering), Head of Intelligent Systems and Digital Technologies Laboratory, e-mail: [Klebanov\\_d@ipkonran.ru](mailto:Klebanov_d@ipkonran.ru)

**Makeyev M.A.**, Managing Director, Junior Research Associate, e-mail: [mm@piklema.com](mailto:mm@piklema.com)

### Abstract

The article identifies factors that indicate the relevance of finding new tools for efficient and safe mining of solid minerals based on advances in predictive analytics methods. These methods take into account the trends in big data analysis in the mining sector. An example is given on implementation of a new class of information systems, i.e. the "digital advisers", which use information from mining dispatching systems, MES, as the input data. The article presents a methodology for launching initiatives to apply predictive analytics to optimize production, as well as a procedure for introducing digital advisers of dump truck drivers.

### Keywords

Coal industry, Digital advisers, Mine Fleet Management System, Big Data, Analytical systems, Mine Fleet Dispatching System, Artificial Intelligence.

### References

1. Trubetskoy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F. & Vladimirov D.Ya. State-of-the-art management systems of mining transport complexes. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007, 306 p. (In Russ.).
2. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V., Klebanov D.A. & Makeyev M.A. Scientific and technical issues in changing management of open-pit mining operations through implementation of robotic mining equipment. *Gornaya promyshlennost'*, 2017, (5), pp. 27-30. (In Russ.).

### Acknowledgements

The research was financially supported by the Russian Science Foundation Grant No.22-17-00142

### For citation

Klebanov D.A. & Makeev M.A. Digital advisers for the coal industry. Methodology of implementation. *Ugol'*, 2022, (8), pp. 112-115. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-8-112-115](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-112-115).

### Paper info

Received July 18, 2022

Reviewed July 20, 2022

Accepted July 25, 2022

PRODUCTION SETUP