

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ КАК ПРОДУКТ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ:  
РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА ПРИМЕРЕ УГЛЯА. Д. Гвишиани<sup>1,2</sup> , И. М. Никитина<sup>\*1</sup>  и И. М. Алёшин<sup>1,2</sup> <sup>1</sup>Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия\* **Контакт:** И. М. Никитина, i.nikitina@gcras.ru

Существующие и планируемые в будущем производственные потоки обогатительной фабрики (ОФ) в статье рассмотрены с точки зрения генерации Больших Данных (БД). Показано, что чем выше уровень автоматизации ОФ, тем объемнее и разнообразнее производимые ею данные. При этом возможно достижение уровня, когда генерируемые потоки информации удовлетворяют критериям БД. В качестве базового примера используется типовая обогатительная фабрика, сырьем для которой является уголь. Описаны и проанализированы основные источники, объемы, разнообразие и скорости передачи регистрируемых данных на ОФ.

**Ключевые слова:** Большие Данные, обогатительная фабрика, уголь, горная промышленность, автоматизация, информационные технологии

**Цитирование:** Гвишиани А. Д., Никитина И. М., Алёшин И. М. Большие данные как продукт обогатительной фабрики: реальность и перспективы на примере угля // Russian Journal of Earth Sciences. — 2023. — Т. 23. — ES3011. — DOI: <https://doi.org/10.2205/2023es000862>

## Введение

Применение угля в промышленности неразрывно связано с вопросами экологии. Несмотря на множественные заверения о снижении или полном отказе от его применения, общемировая статистика говорит об обратном. Так, в части стран уголь остается основным источником производства энергии.

### *Глобальные и национальные перспективы использования углей*

По итогам 26 сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (КС-26) 65 стран объявили о намерении полностью отказаться от производства энергии из угля к 2040 году или ранее [КС-26: *Климатический пакт Глазго, 2021*]. Среди этих стран нет таких крупнейших мировых производителей и потребителей угля, как Китай, Индия, США, Австралия, РФ и Япония (рис. 1, 2 авторские, выборка на основе [Energy Institute, 2023]). В свою очередь Индонезия, ЮАР и Южная Корея взяли на себя обязательства по постепенному отказу от использования угля.

Основным производителем и потребителем угля в 2022 году оставался Китай. По данным независимого британского аналитического центра Ember [Jones, 2021] в период с 2015 по 2020 год спрос на электроэнергию в Китае вырос более чем на 6,768 ЭДж. Это больше, чем общий объем электроэнергии, выработанный Индией в 2020 году.

Глобальная тенденция возрастания производства электроэнергии из угля в XXI веке остается постоянной (рис. 3 авторский, выборка на основе [Global Change Data Lab, 2022]). При этом, начиная с 2011 года мировое производство угля остается на постоянном высоком уровне, а в 2022 году, по данным Международного энергетического агентства, достигло исторического максимума [The International Energy Agency, 2022], в связи с геополитическими причинами.

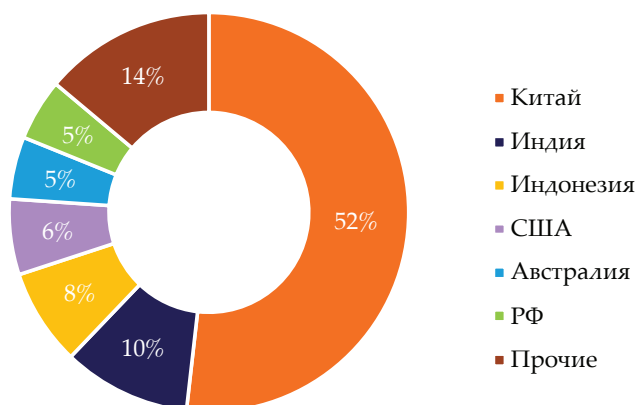
Получено: 28 июня 2023 г.

Принято: 13 июля 2023 г.

Опубликовано: 15 сентября 2023 г.



© 2023. Коллектив авторов.



**Рис. 1.** Объем производства угля в 2022 году по странам в % от глобального объема.

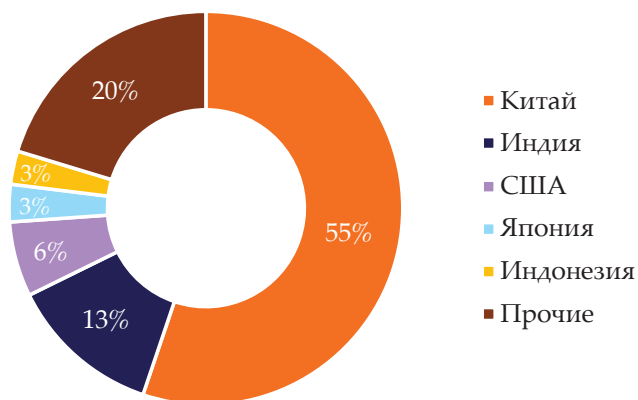
В РФ до 2020 года добыча угля ежегодно возрастала (рис. 4). При этом более 54% добытого угля отгружалось на экспорт [Петренко, 2023]. В 2020 году производство энергии из угля в РФ упало на 9% из-за снижения спроса на электроэнергию на 2,4% в силу COVID-19 и роста гидрогенерации за счет рекордного объема талых вод. В 2021 году тренд на возрастание объемов добычи возобновился.

Имеющиеся статистические и прогнозные данные говорят о том, что в краткосрочной перспективе 20–30 лет объемы добычи и потребления угля не снизят темпы [Кондратьев и др., 2019; Энергетический бюллетень. Перспективы мирового угольного рынка, 2021; Scherrikau, 2016]. В данном контексте проблема обогащения угля является особенно актуальной.

### Обогащение углей

Обогащение угля – это обработка угля для повышения содержания в нем горючей массы удалением негорючих компонентов. [ГОСТ 17321-2015]. Последние определяют характеристику угля, называемую его зольностью.

Процесс обогащения позволяет повысить качество потребляемого угля и способствует уменьшению загрязнения окружающей среды. Снижение зольности углей позволяет уменьшить количество образующих золошлаковых материалов и выброс вредных компонентов в атмосферу.



**Рис. 2.** Объем потребления угля в 2022 году в % по странам.

На текущий момент в РФ обогащают весь коксующийся уголь, используемый в металлургии, и около 35% энергетического угля, применяемого для генерации энергии на теплоэлектростанциях. При этом последние 10 лет объем обогащаемого энергетического угля постоянно растет (рис. 5, расчет выполнен на основе данных [Петренко, 2023]). Большая часть обогащенного энергетического угля направляется на экспорт [Министерство энергетики РФ, 2021].

В соответствии с Программой развития угольной промышленности России на период до 2035 года доля обогащаемого каменного энергетического угля в общем объеме его добычи к 2035 году должна достигнуть 60–80% [Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года].

На территории РФ функционирует более 60 обогатительных фабрик, примерно половина которых введена в эксплуатацию после 2000 года.

Общая технологическая схема обогащения угля состоит из пяти этапов (рис. 6).

Этап 1. При приёмке угля удаляются крупные куски породы и другие посторонние предметы, для этого в основном используют колосниковый грохот.

Этап 2. Далее уголь проходит предварительную сортировку по крупности, где удаляются крупные куски породы и другие посторонние предметы. Транспортировка массы внутри фабрики осуществляется при помощи конвейеров. Затем уголь поступает на дробление, измельчение и дальнейшую классификацию. Крупный класс обогащают отдельно от мелкого.

Этап 3. Основным способом обогащения углей остается гравитационный, основанный на существенной разнице в плотности угля и породы. В основном блоке преимущественно применяют мокрые процессы, в которых вода является средой обогащения,

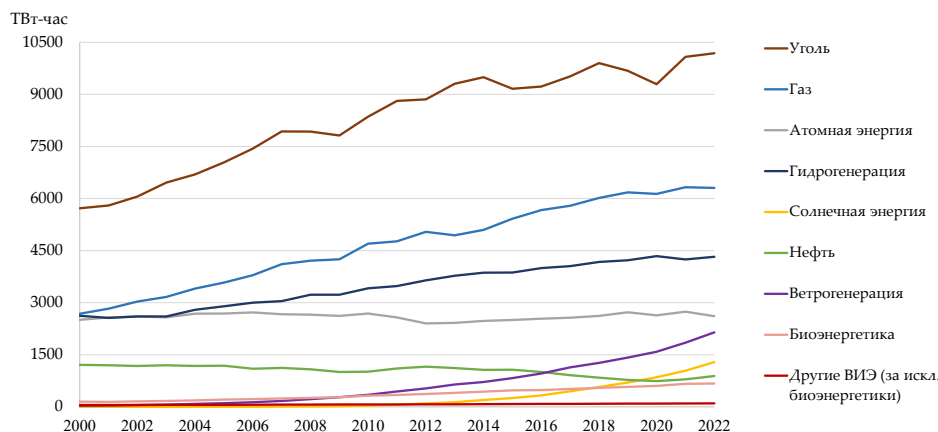


Рис. 3. Производство энергии по источникам в XXI веке.

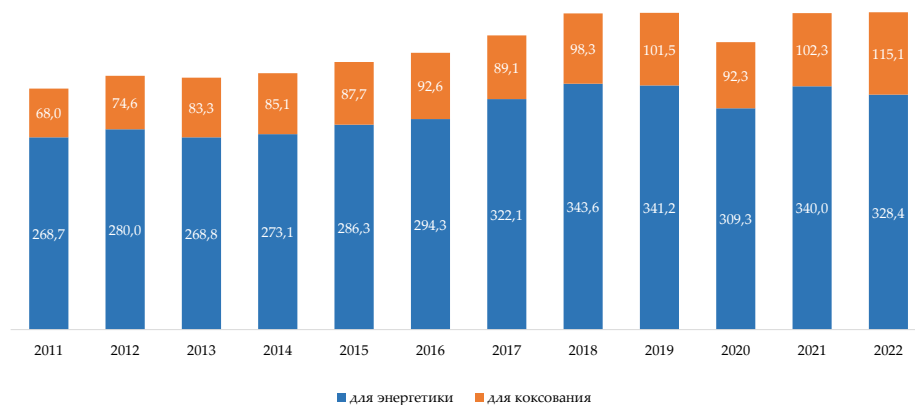


Рис. 4. Динамика добычи углей в РФ, млн т [Петренко, 2023].

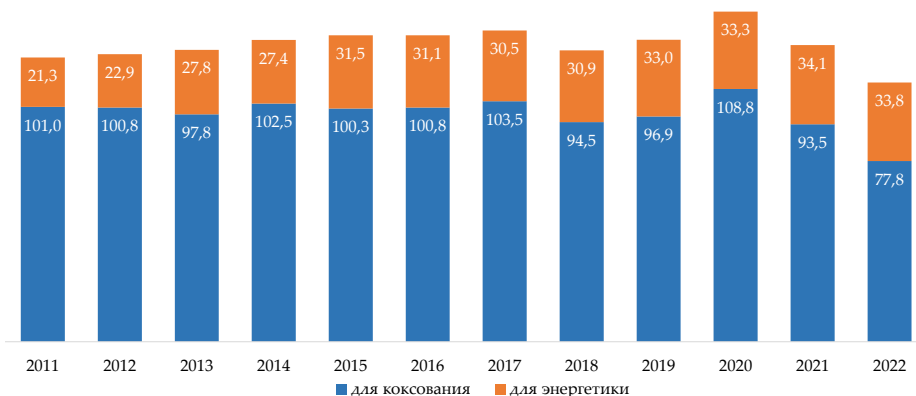


Рис. 5. Доля обогащаемого угля в РФ в объеме добычи, % [Петренко, 2023]. (Превышение значения 100% объясняется обогащением угля со склада, добытого в предшествующем году.).

обеспечивающей высокую точность разделения, среди них: обогащение в тяжёлых средах (сепараторы для обогащения в тяжёлых средах), на наклонной плоскости (концентрационные столы и винтовые сепараторы), противоточное (шнековые и крутонаклонные сепараторы) и отсадка (отсадочные машины) [Авдохин, 2012]. Часть обогащительных фабрик обогащает мелкие классы углей <0,5 мм флотацией. Флотация – процесс разделения твердых частиц, основанный на различной смачиваемости водой поверхности и их избирательном закреплении на поверхности

раздела двух фаз [Авдохин, 2012]. Другие методы обогащения мелких классов угля применяются реже.

Этап 4. Уголь, как товарная продукция, имеет жесткие требования к содержанию влаги. Поэтому обезвоживание является важным обязательным этапом. Основные способы обезвоживания приведены на рис. 6.

Этап 5. Далее уголь поступает на склад и отгружается потребителю по железной дороге или автотранспортом.

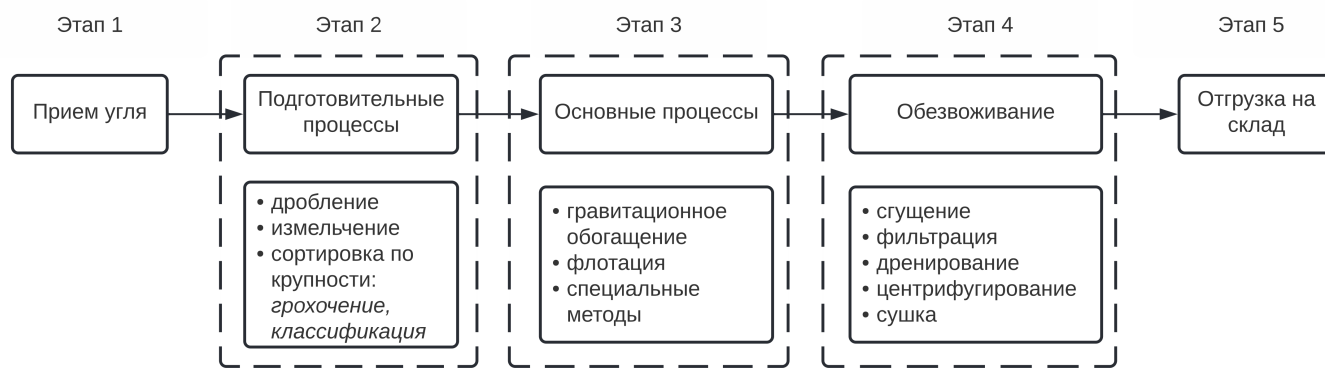


Рис. 6. Общая схема обогащения углей.

Обогатительная фабрика объединяет множество процессов, регулирующих потоки разнообразных данных, являясь по своей логической сущности инструментом системного анализа. Успешное функционирование фабрики определяется оптимизацией технологического режима работы оборудования, а также правильной системой логистики предприятия в целом.

Задача настройки режимов здесь далеко не тривиальна. Действительно, сырье, поступающее на обогатительную фабрику (ОФ), имеет широкий диапазон параметров качества, тогда как на выходе получаемый концентрат должен иметь строго заданные параметры. Таким образом, оптимальный режим работы оборудования ОФ есть функция времени, которая также зависит от параметров концентрата, производимого фабрикой.

Оператор не всегда может оперативно реагировать на изменения переменных этой функции и принимать оптимальные решения. Поэтому все чаще встает вопрос о создании и внедрении автоматических методов оперативной корректировки технологических режимов. Для этого в функционирование ОФ внедряют различные IT-решения, реализующие элементы искусственного интеллекта (ИИ) и методы прикладного системного анализа. Последние с одной стороны создают Большие Данные (Бод, Big Data), а с другой стороны требуют их для своего функционирования.

Искусственный интеллект, наряду с оптимизацией режимов, позволяет решить целый ряд других актуальных задач. Так, программы, реализующие алгоритмы компьютерного зрения, использующие Бод для оптимизации моделей, позволили уменьшить простой конвейеров из-за аварийных ситуаций. Нейронная сеть, анализируя данные видеокамер, распознает отклонения от нормы, что позволяет определить предотказное состояние и запланировать ремонтные работы [Проект «Чистая руда», 2019] и т.д.

Автоматизация работы ОФ путем внедрения существующих и создания оригинальных IT-продуктов – одна из первоочередных задач в современных стратегиях развития крупных производителей угля. В то же время такая автоматизация ОФ ведет к созданию «вторичного производства» – развертыванию во времени процесса создания фабрикой Больших Данных.

### Потоки данных, производимые обогатительной фабрикой

Цифровые данные информационных систем ОФ формируются на каждом из этапов прохождения угля, отходов и технологической воды по фабрике (рис. 7) [ИТС 37-2017].

На входе оценивается вес, крупность и другие исходные показатели сырья. Далее, каждый этап обогатительного процесса (рис. 6) определяется параметрами, управление которыми позволяет получать конечный продукт с заданными качественными характеристиками. Здесь возникает два связанных потока информации – значение показателей изменения сырья на каждом из этапов и значение показателей, определяющих управление процессом обогащения.

На каждой ОФ работает отдел технического контроля (ОТК). Эта структура ОФ определяет параметры качества сырья по стандартным методикам. Соответствующие процедуры продолжительны по времени, достигая иногда 24 и более часов. Результаты таких определений имеют большую точность, необходимую для подтверждения качества отгружаемой товарной продукции. Однако, эти определения, в силу их длительности, не позволяют оперативно управлять процессом обогащения, в отличие от поточных приборов, о которых идет речь в настоящей статье.

На модернизированных ОФ сегодня устанавливают, хотя пока в недостаточном количестве, поточные золомеры и анализаторы химического состава, которые передают информацию об изменяющихся в ходе обогащения параметрах сырья.

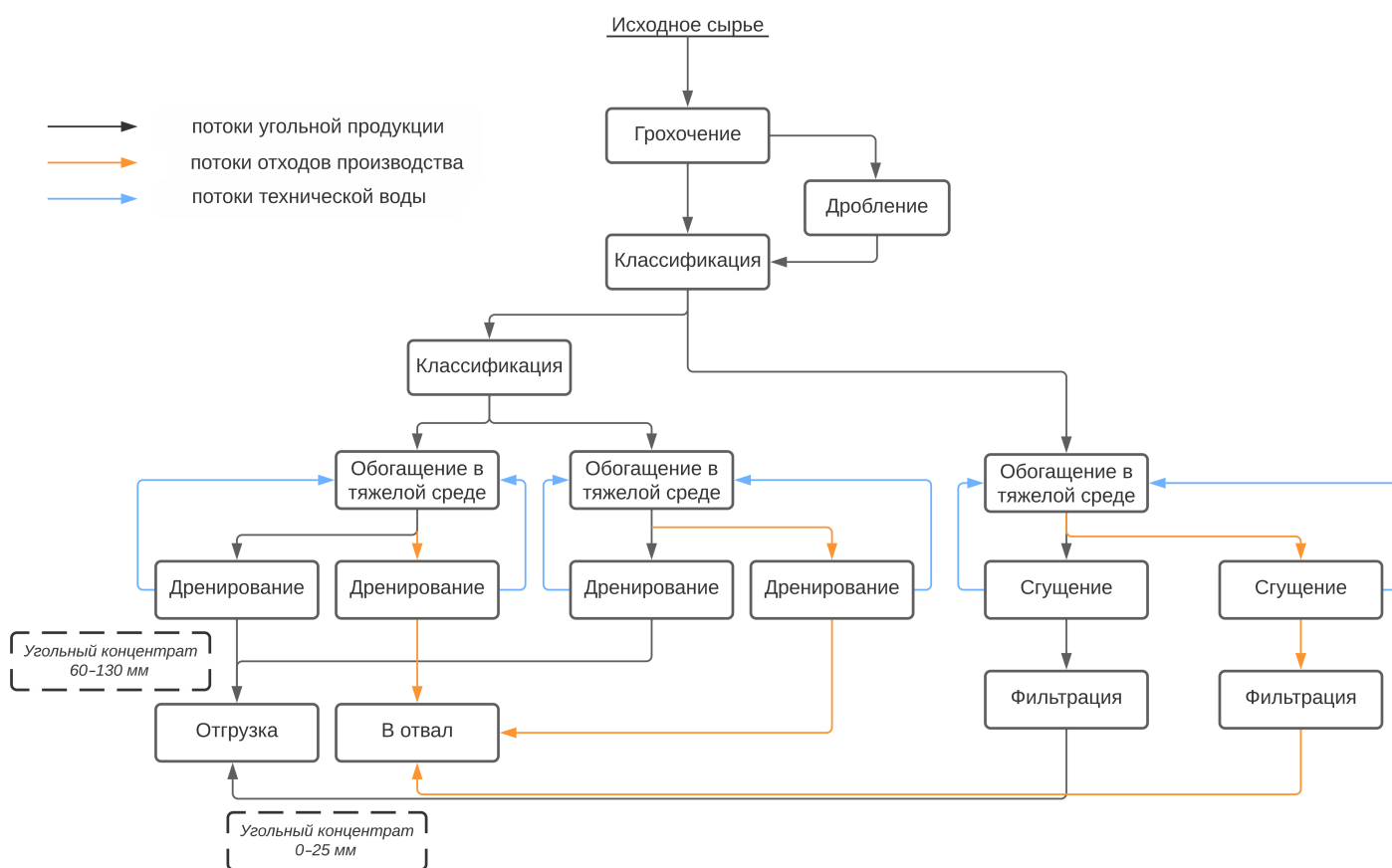


Рис. 7. Типовая схема потоков угля, отходов производства и технической воды (на примере Тугнуйской ОФ).

Преимущества полной автоматизации ОФ, обеспечивающей возможность быстро и точно настраивать параметры оборудования, в реальном времени, в зависимости от типа сырья при постоянном качестве концентрата, отмечала известный специалист в области проектирования ОФ Л. А. Антипенко. Реализовать такой проект не просто, но современные технические средства делают это возможным [Кучумова, 2021]. Однако говорить о высоком уровне автоматизации угольных ОФ в нашей стране сегодня достаточно сложно.

Автоматизация ОФ предусматривает накопление показателей всех систем, как информационную базу для онлайн-системного анализа. Технологические потоки, приведенные на рис. 7, проходя все производственные этапы, формируют три основных потока данных, показанные на рис. 8.

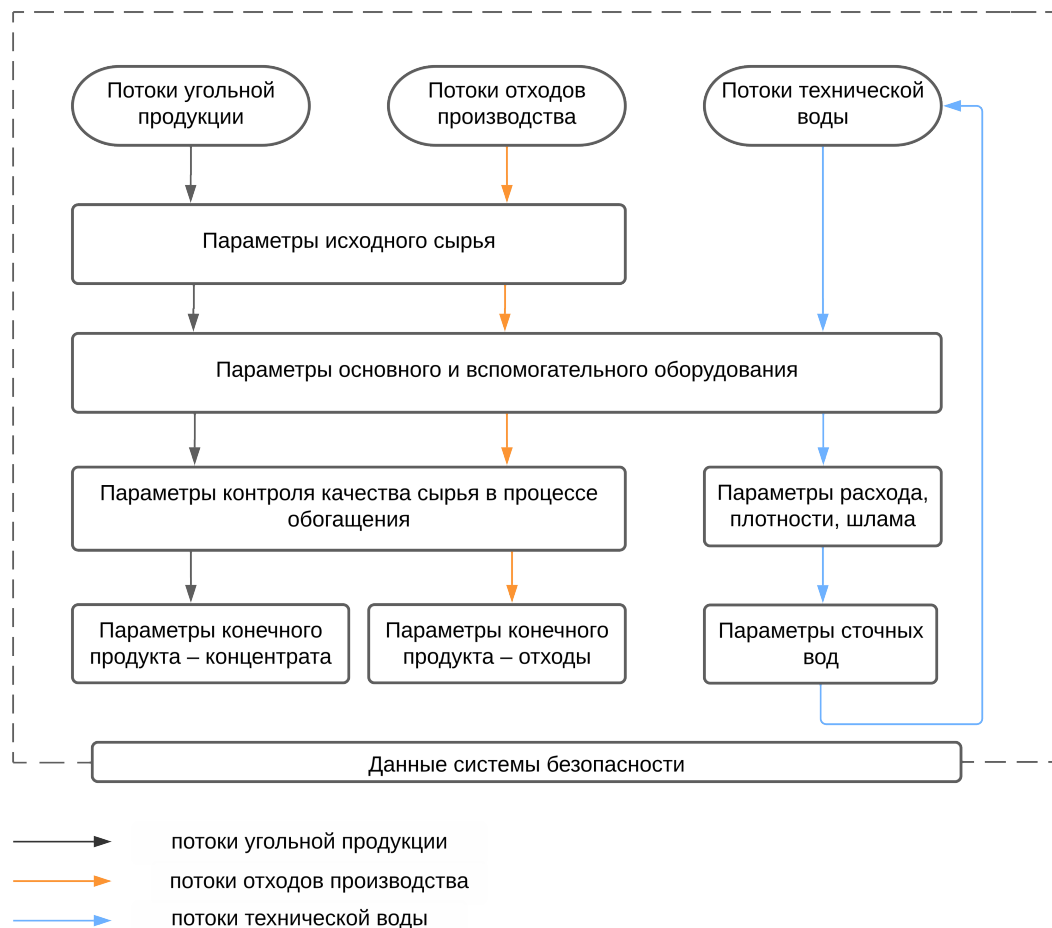


Рис. 8. Три основных потока данных, формируемые на автоматизированной ОФ.

На автоматизированной ОФ будущего информация о каждом обогатительном процессе будет включать в себя разнообразные данные о количестве и качестве сырья, параметрах работы и техническом состоянии оборудования, а также о безопасности процесса. Важнейшей составляющей, как и сегодня, будет информация о конечном продукте.

Три потока значений соответствующих параметров смогут поступать в центр данных ОФ от установленных на всех этапах процесса обогащения приборов, оснащенных необходимыми датчиками, сенсорами, камерами и регистраторами. Их общий перечень, разделенный по смысловым группам, приведен в табл. 1 [Антипенко и Сарин, 2017; Правила безопасности при переработке, обогащении и брикетировании углей].

Перечисленные в табл. 1 приборы – это пример комплекта, который потенциально может быть установлен на ОФ. Количество датчиков управления и контроля и производимый ими объем информации на реальных ОФ, существующих сегодня, ежегодно возрастает. Учитывая постоянное развитие обогатительной науки и её современных инженерных решений, следует ожидать дальнейшего расширения перечня оборудования (табл. 1), ведущего мониторинг производства на ОФ будущего. При этом контроль качества и безопасности процесса должен проводиться на всех этапах, приведенных на рис. 7.

Приборы для контроля качества процесса (табл. 1) обычно измеряют основной и несколько сопутствующих параметров. Золомер, на основе оценки затухания гамма-

**Таблица 1.** Перечень датчиков и измеряемых ими параметров ОФ

Перечень приборов и генерируемых ими параметров	Необходимое количество приборов
<b>Контроль качества</b>	
Золомер поточный: зольность, калорийность, объем угля на конвейере, влажность, толщина слоя	10
Влагомер поточный: влажность, толщина слоя на конвейере	15
Анализатор химического состава: S, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, TiO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, Cl и др. (от серы до урана), влажность, зольность, калорийность	5
<b>Параметры процесса</b>	
Весы конвейерные: масса	10
Уровнемер: высота уровня	40
Гидростатический преобразователь уровня: давление, высота уровня пульпы	10
Плотномер: плотность	10
Расходомер: массовый или объемный расход	10
Датчик содержания магнетита: массовая доля/содержание магнетита	5
Система дозирования флокулянтов и флотореагентов (пенообразователь, собиратель, пульпа и т.д.): расход сырья, расход реагентов, масса, pH, скорость мешалки, скорость насоса, температура, концентрация, вид продукта, уровень	50
Термометры в процессе флотации: температура	10
<b>Параметры оборудования</b>	
Датчик эл. мощности: мощность	10
Видеокамера на конвейере с системой распознавания: видеосигнал, параметры распознавания (классификация объектов, износа, пробой, и др. маркеры, в зависимости от обучения системы)	30
Датчики заштыбовки: угол наклона	100
Датчик экстренной остановки (на каждой ед. оборудования): параметры в зависимости от типа оборудования	100
Датчик давления: давление	10
Контроллер величины тока: сила тока, состояние микроконтроллера	10
Датчик бокового схода конвейерной ленты: угол отклонения, состояние микровыключателей (есть/нет контакт)	20
Датчик скорости конвейерной ленты: угол отклонения, состояние микровыключателей (есть/нет контакт)	10
Датчик наличия потока материала: интенсивность отраженного материалом сигнала	10
<b>Контроль безопасности</b>	
Система контроля запыленности воздуха: массовая концентрация пыли	50
Система аэрогазового контроля: концентрации кислорода, водорода, метана, сернистого ангидрида, сероводорода, диоксида азота и др. газов	50
Контроль состава воздуха: температура, скорость, влажность, давление	50
Датчики дыма: температура, концентрация газа	100
Система тепловизоров: температура, инфракрасный сигнал, видеосигнал, параметры распознавания (нагревания, дефектов, движения, в зависимости от обучения системы)	10

излучения, определяет, как основной параметр – зольность угля, а как сопутствующие – влажность, калорийность, толщину слоя и количество прошедшего по конвейеру угля. Анализаторы химического состава, используя гамма-нейтронный радиоактивный экспресс-анализ (PGNAA), способны определить содержание серы и оксидов в углях в качестве основных параметров, зольность и влагу как сопутствующие.

Большинство из перечисленных в табл. 1 приборов позволяют получать, при наличии соответствующих каналов связи, сведения в онлайн-режиме, создавая по крайней мере квазинепрерывный поток данных. Порядка семисот приборов генерируют более 5000 параметров в единицу времени. Эффективное и оперативное управление таким объемом разнообразных данных вручную не представляется возможным и требует IT-решений, разработанных в рамках теории и практики Больших Данных.

Информация, поступающая от приборов, аккумулируется в режиме реального времени в диспетчерской автоматизированной обоганительной фабрике (АОФ, центр данных), где оператор контролирует процесс и корректирует его по необходимости. При этом реализуется накопление и хранение полученных данных. Корректировка необходима не только для обеспечения получения концентрата заданного качества, но и для обеспечения бесперебойной работы оборудования и соблюдения требований безопасности. Так, например, эксплуатация пневматических сепараторов запрещена при влажности угля более 8%. Соответственно процесс должен быть остановлен в этом случае. Также регулирование оператором (или ИИ) скорости подачи угля позволяет работать оборудованию в оптимальном режиме, без перегрузок.

Сегодня на многих ОФ передача данных в диспетчерскую ведётся в ручном режиме, а расчёты и отчётность в таблицах Microsoft Excel. Такое зачаточное использование информационных технологий не позволяет принимать оперативные управленческие решения, приводит к низкой эффективности работы оборудования и персонала, потере существенной части данных. Для преодоления этой ситуации на фабриках сегодня устанавливают системы диспетчерского управления и сбора данных SCADA (supervisory control and data acquisition). Система собирает информацию в режиме реального времени, позволяет ее визуализировать и ретроспективно обрабатывать при помощи различных аналитических IT-инструментов [Жданев и Оленева, 2021; Samorodova и др., 2016]. Более высоким чем SCADA уровнем автоматизации фабрики является система управления производством MES (manufacturing execution system) [Асланова, 2017]. Эта система предназначена для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции. Информационная система MES имеет развитую инфраструктуру, что позволяет оперативно отслеживать изменение параметров технологического процесса. Легко видеть, что системы SCADA и MES сами производят новые, дополнительные данные, вписывающиеся в поток Бод.

Будущее автоматизации ОФ – создание, на основе ИИ и Бод, цифровых двойников предприятий, полностью осуществляющих системно-автоматическое управление фабрикой, с минимальным включением в этот процесс человеческого фактора.

На Талнахской обоганительной фабрике ПАО ГМК «Норильский никель» реализован проект «Цифровой двойник оператора флотации», частично иллюстрирующий решение этой проблемы. Почти 80% времени участок флотации управляется цифровым двойником, благодаря чему более чем на 15% выросло попадание в заданные технологические диапазоны извлечения элементов в концентрат. Аналогичное решение внедрено на обоганительной фабрике АО «Кольская ГМК», где также отмечено увеличение извлечения никеля в концентрат [Абраров и др., 2022; Проект «Цифровой двойник оператора флотации», 2019].

### **ОФ как источник Больших Данных**

Цифровизация обоганительных производств приводит к появлению огромных массивов данных, поступающих с датчиков, камер, сенсоров, регистраторов и архивов принятия решений. Это потоки разнообразных квазинепрерывных и дискретных данных, объем и свойства которых в определенный момент начинают соответствовать понятию «Больших Данных» [Гвишиани и др., 2022; Майер-Шенбергер и Кукьер, 2014].

Большие Данные – это разнообразные структурированные и неструктурированные данные, которые поступают и обрабатываются с постоянно растущими скоростью и объемом [Dean и Ghemawat, 2008]. Классическим примером Бод служит увеличение множества логинов в интернете, как функция времени. Яркие примеры Бод можно



найти и в науках о Земле [Гвишиани и др., 2022; Захаров и др., 2021; Dovgal и Kuizheva, 2022].

Для отнесения данных к классу Бод изначально применяли предложенный Meta Group критерий 3V – объем (Volume), скорость поступления и обработки (Velocity) и разнообразие видов информации (Variaty). Сегодня, в некоторых случаях, к ним добавляют четвертое V – возможность стать разнообразными (Variability). Два новых параметра – достоверность (Veracity) и ценность (Value) – возникли в ответ на лавинообразный рост объема данных, в связи с вопросами, могут ли полученные данные принести пользу, и насколько данным можно доверять [Reinsel и др., 2018].

Важным характеристическим свойством Бод является их математическое обеспечение, реализованное в концепции обработки Бод Map Reduce и ПО семейства Hadoop. Эти инструменты дают возможность одновременного сбора, хранения, преобразования и дальнейшего целевого и мультицелевого анализа структурированных и неструктурированных данных (например, матриц, векторов, изображений, видеоклипов, чисел, голосовых сообщений и т.д.) [Гвишиани и др., 2023].

Рабочая группа АО «Газпром» совместно с компанией Teradata использовали инструменты Бод для выявления причин сбоев автоматического перезапуска насосов после аварийного отключения электропитания. Путем анализа 200 млн неструктурированных записей были сформированы и проверены наборы различных гипотез о причинах сбоев в автозапуске, получена информация о ранее неизвестных взаимосвязях в работе насосного оборудования [Хасанов и др., 2016].

Такой результат удалось получить, отказавшись от использования выборок в пользу анализа всех доступных данных о работе оборудования. «Больше данных – лучше результат» – отмечают авторы Майер-Шенбергер, Кукьер [2014]. Работа с массивами данных зачастую означает переход от точных результатов к вероятностям. Возникающая при этом «беспорядочность данных» связана с сочетанием различных типов информации, неоднородностью форматирования и другими причинами. Однако понимание общих тенденций предпочтительнее точности при работе с Бод [Майер-Шенбергер и Кукьер, 2014].

Накопление данных на ОФ начинается со значений параметров, регистрируемых установленными приборами (см. табл. 1). По предварительным расчётам на фабрике потенциально может быть установлено от 500 приборов, которые квазинепрерывно передают значения более чем 5000 параметров. При расчете на 1 байт информации, с учетом привязки каждого параметра ко времени, и частоте передачи информации один раз в секунду, получим как минимум 1 Гб разнообразных первичных данных в день. В действительности частота передачи данных на многих приборах выше, а длина переданного символа больше.

По оценке Института комплексного освоения недр РАН, объем данных, генерируемых SCADA, и MES систем, составляет 50–100 ТБ в год на текущий момент. При повышении уровня цифровизации эти цифры существенно возрастут [Захаров и др., 2021]. Есть и отдельные попытки уйти от SCADA и MES систем в сторону анализа Бод в квазинепрерывном потоковом режиме, т.е. по сути к цифровому двойнику ОФ [Осипов, 2019].

Приборы и датчики регистрируют параметры, генерируемые физическими потоками сырья, воды, отходов, проходящими через фабрику (см. рис. 7 и 8). Значения этих параметров создают непрерывный поток информации, описывающий работу обогащательной фабрики в каждый конкретный момент времени (см. рис. 9). Этот поток, по своей сути, является функцией времени, создаваемой Бод.

Полученные данные должны быть определенным образом собраны, пройти процедуру проверки (валидации) и сохранены. Дальнейший анализ данных может показать необходимость корректировки отдельных параметров процесса. В результате мы получаем замкнутый цикл работы с информацией. Разработка методических подходов к сбору, хранению и анализу данных – актуальная на текущий момент задача, реше-

ние которой необходимо для широкого практического внедрения практики БоД на предприятиях [Захаров и др., 2022].

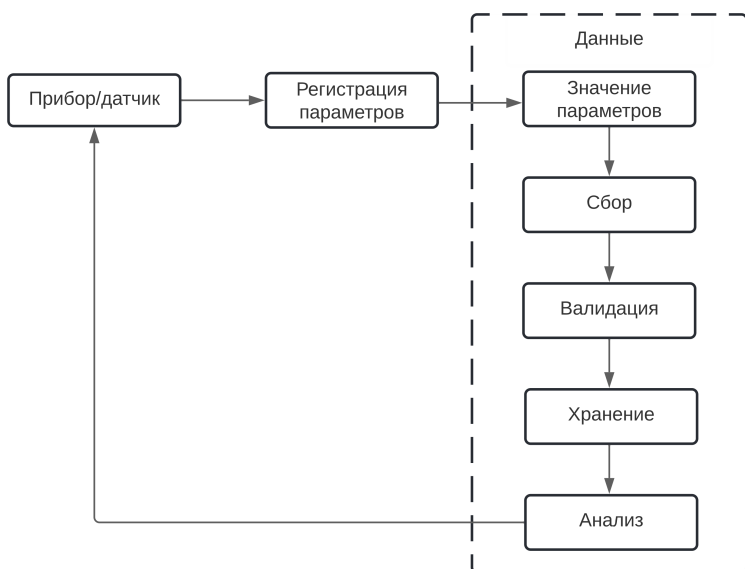


Рис. 9. Движение данных на предприятии.

Использование всей совокупности генерируемых параметров позволяет посмотреть на ОФ как на непрерывно изменяющуюся взаимосвязанную динамическую систему. В такой системе даже незначительные вариации каждого параметра приводят к изменению остальных. Это причина, по которой концепция БоД в применении к крупным производственным объектам представляется весьма эффективной.

Стоит отметить, что приведенный примерный расчёт произведен для фабрик обогащения углей, которые по своим объемам и количеству стадий технологического процесса существенно уступают рудным. Поэтому стоит ожидать, что в случае рудных ископаемых схема, приведенная на рис. 7, будет выглядеть сложнее, а указанные численные оценки существенно возрастут.

### Обсуждение

Горно-перерабатывающая промышленность, частью которой являются угольные обогатительные фабрики, занимает в нашей стране определённые позиции в цифровой трансформации и использовании технологий БоД [Луквичёв, 2021]. Однако, в сравнении с банковским или телекоммуникационным секторами, эти позиции трудно назвать лидирующими. В то же время, открывающиеся в этом направлении возможности для горной промышленности в целом, и для угольных обогатительных фабрик, в частности, – колоссальны [Barnewold u Lottermoser, 2020]. Общий мировой тренд на использование в практике технологий БоД связан с развитием сферы информационных технологий и созданием направлений, которые поддерживают автоматизацию промышленных сфер деятельности («Интернет вещей» (Internet of Things, IoT), цифровые двойники и пр.). Анализ годовых отчетов крупнейших горно-промышленных компаний показывает, что они нацелены на поэтапное, стратегическое информационное развитие в качестве долгосрочной цели [Soofastaei, 2020]. Одновременный бурный рост разнообразия характеристик информационных процессов обогащения полезных ископаемых, в частности угля, делает естественным и необходимым использование БоД [Захаров и др., 2021].

Внедрение технологий БоД в работу ОФ сопряжено с множеством сложностей и требует как минимум дооснащения, а как максимум – полного переоснащения предприятия. По этой причине их освоение начинают на этапах рабочего процесса, которые с минимальными затратами могут поставлять данные о прогрессе хода работ. Например, узла сбыта или логистики. Это не требует высоких начальных затрат и позволяет быстро достичь эффекта от сделанных инвестиций. Одновременно применяют уже хорошо зарекомендовавшие себя подходы, например, внедрение интеллектуальных систем в транспортных департаментах горных предприятий [Рыльникова и др., 2022]. Иными словами, при сегодняшнем уровне внедрения цифрового контроля на ОФ внедрение технологий БоД может и должно осуществляться индуктивно – от частного к общему. Так и происходит в реальности.

При этом следует отметить, что даже частичное применение технологий БоД в контроле и управлении циклом обогащения сможет дать существенный экономический эффект. В результате может быть достигнуто увеличение выхода концентрата заданного качества. Это в свою очередь позволит увеличить прибыль от реализуемой продукции. Уменьшение диапазона колебания качественных характеристик концентрата снизит

количество и объем штрафных санкций, которые обычно включены в договор между поставщиком и потребителем.

Здесь стоит остановиться на причинах в случае обогащения угля. Исходное сырье, поступающее на фабрику, является природным материалом, параметры которого априори не могут быть постоянными вследствие множества факторов. К ним относят геологическое строение пласта, условия его залегания, состав и свойства вмещающих пород, способ добычи, сопутствующие полезные ископаемые, изменение погодных условий в течение года и многое другое. Т.е. мы имеем поток входящего на ОФ сырья с изменчивым качеством. Обоганительная фабрика в процессе переработки должна повысить качество угля путем извлечения загрязняющих примесей и привести качество продукта в узкий искомый диапазон значений концентрата. При этом снижение в процессе обогащения, например, зольности углей может достигать нескольких десятков процентов.

Говоря о перспективе внедрения технологий Бод в практику работы предприятий следует отметить несколько полезных аспектов:

1. Организация непрерывно пополняющегося горизонтально масштабируемого хранилища, в том числе неструктурированных данных. Оно может быть реализовано в виде так называемого «озера данных» (data lake), в котором накапливают необработанные сырые данные [Ravat u Zhao, 2019].
2. Принятие управленческих решений на основе анализа Бод. Реализация непрерывной пакетной или потоковой обработки поступающих данных позволит оптимизировать производственный процесс. Технологии искусственного интеллекта, работая в непрерывном режиме, могут оперативно выбирать и предлагать оператору наилучшие решения в текущей ситуации, либо принимать их самостоятельно. Пример такого подхода для цеха флотации, реализованного компанией ПАО ГМК «Норильский никель», упомянут выше.
3. Поиск закономерностей и трендов. Имея достаточный объем данных, включающий в себя архив за прошедшие годы, можно провести, например, ретроспективный анализ отказов оборудования, построить гипотезу взаимосвязи производственных процессов, выявить новые закономерности и, что самое важное, проверить полученные результаты на имеющихся данных.

Реализация проектов создания, хранения и использования Бод ОФ невозможна одномоментно. Этот процесс разворачивается во времени. Необходима всесторонняя подготовка, как с научной и технической, так и с управленческой стороны [Гвишиани и др., 2023]. На предприятии должен быть внедрен «Интернет вещей», который позволит собирать значения множества параметров работы оборудования без вмешательства человека (или с его минимальным участием); подготовлен удовлетворяющий требованиям сбора и хранения дата-центр, на базе которого реализуется хранилище данных, с интеграцией уже действующих систем управления предприятием; собрана и обучена команда IT-специалистов, инженеров, аналитиков, технических специалистов, и многое другое. Проект создания Бод ОФ является дорогостоящим. Однако результаты, возможно и весьма неожиданные, которые предполагается получить с его помощью, могут с лихвой возместить сделанные затраты в обозримом будущем.

Мы стоим на пороге новой парадигмы, при которой перестроение сложившихся процессов катализируется анализом данных, запускающих последующие циклы оптимизации. Поэтому важно начать сбор Больших Данных уже сегодня в том виде, в котором они доступны [Odintsova u др., 2018]. Со временем сегодняшнее информационное ядро развернется в быстро возрастающий мощный информационный поток, который приведет к созданию гигантских и разнообразных Больших Данных, произведенных угольной ОФ, как ее сопутствующего продукта.

Обогащение полезных ископаемых – сложный многофакторный процесс с большим количеством ключевых показателей. Непрерывное накопление данных о каждой из его стадий позволит глубже моделировать процесс для его последующей оптимизации

по выбранным показателям. Переход от ОФ к АОФ ведет к поэтапному снижению влияния человеческого фактора на конечный результат.

Основная цель использования современных достижений обработки Бод в данной практике – повышение извлечения ценного компонента для получения продукта постоянного качества. Использование современных достижений теории и практики Бод и связанных с ними ИТ-решений сможет значительно способствовать достижению этой цели.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственных заданий № 075-01349-23-00 Геофизического центра РАН и № 075-01030-23-00 Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, утвержденных Минобрнауки России.

## Список литературы

- Абраров А. Д., Дациев М. С., Чикильдин Д. Е. *и др.* Система оптимизации процесса коллективной флотации Талнахской обогатительной фабрики на основе алгоритмов машинного обучения // Цветные металлы. — 2022. — Т. 2. — С. 87–93. — DOI: [10.17580/tsm.2022.02.11](https://doi.org/10.17580/tsm.2022.02.11).
- Авдохин В. М. Обогащение углей. Том 1. Процессы и машины. — Горная книга, 2012. — С. 424.
- Антипенко Л. А., Сарин Н. Г. Автоматизированное предприятие - Углеобогатительная фабрика будущего // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 2. — С. 5–13.
- Асланова И. В. Mes как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия // Российское предпринимательство. — 2017. — Т. 18, № 11. — С. 1651–1658.
- Гвишиани А. Д., Добровольский М. Н., Дзеранов Б. В. *и др.* Большие Данные в геофизике и других науках о Земле // Физика Земли. — 2022, № 1. — С. 3–34. — DOI: [10.31857/S0002333722010033](https://doi.org/10.31857/S0002333722010033).
- Гвишиани А. Д., Панченко В. Я., Никитина И. М. Системный анализ Больших Данных для наук о Земле // Вестник РАН. — 2023. — Т. 6, № 93. — С. 518–525. — DOI: [10.31857/S0869587323060087](https://doi.org/10.31857/S0869587323060087).
- ГОСТ 17321-2015. Уголь. Обогащение. Термины и определения. — Москва : ФГУП «Стандартинформ», 2016. — 11 с. — (Межгосударственный стандарт).
- Жданев О. В., Оленева О. Н. Приоритетные направления развития российского программного обеспечения для угольной промышленности. Часть 2 // Уголь. — 2021. — Т. 6. — С. 18–22. — DOI: [10.18796/0041-5790-2021-7-13-19](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-7-13-19).
- Захаров В. Н., Гвишиани А. Д., Вайсберг Л. А. *и др.* Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем // Горный журнал. — 2021. — Т. 11. — С. 45–52. — DOI: [10.17580/gzh.2021.11.06](https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.06).
- Захаров В. Н., Каплунов Д. Р., Клебанов Д. А. *и др.* Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами // Горный журнал. — 2022. — № 12. — DOI: [10.17580/gzh.2022.12.10](https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10).
- ИТС 37-2017. ИТС 37-2017 «Добыча и обогащение угля». — Москва : Бюро НДТ, 2017. — 294 с. — (Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям).
- Кондратьев В. Б., Попов В. В., Кедрова Г. В. Глобальный рынок угля: состояние и перспективы // Горная промышленность. — 2019. — Т. 2, № 144. — DOI: [10.30686/1609-9192-2019-2-144-6-12](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-2-144-6-12).
- КС-26: Климатический пакт Глазго : тех. отч. / Конференция ООН по изменению климата. — Великобритания, Глазго, 2021.
- Кучумова А. Ставки на обогащение угля. — 2021. — URL: <https://dprom.online/chindustry/stavki-na-obogashhenie-uglya/> (дата обр. 01.02.2022).
- Лукичев С. В. Цифровое прошлое, настоящее и будущее горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. — 2021. — № 4. — С. 73–79. — DOI: [10.30686/1609-9192-2021-4-73-79](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-73-79).
- Майер-Шенбергер В., Кукьер К. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. — Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2014. — С. 240.
- Министерство энергетики РФ. Доклад Министерства энергетики РФ о ходе реализации в 2020 году Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года : тех. отч. / Письмо Министерства энергетики РФ от 28.05.2021 №АЯ-6203/22. — 2021.
- Осипов Е. Как подружить промышленность и big data. — 2019. — URL: <https://habr.com/ru/companies/croc/articles/466933/> (дата обр. 14.04.2022).
- Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2022 год // Уголь. — 2023. — № 3. — С. 21–33. — DOI: [10.18796/0041-5790-2023-3-21-33](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-21-33).

- Правила безопасности при переработке, обогащении и брикетировании углей.* Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.10.2020 № 428. — Москва : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2020. — 149 с. — (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности).
- Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года.* Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 года N 1582-р. — Москва : Правительство РФ, 2022. — (Программа развития).
- Проект «Цифровой двойник оператора флотации». — 2019. — URL: <https://digitalmining.ru/nominanty-2021/tpost/xfjx0krti1-tsifrovoy-dvoynik-operatora-flotatsii,%20https://digitalmining.ru/nominanty-2021/tpost/y68zveua61-avtomatizirovannaya-optimizatsionnaya-si> (дата обр. 01.02.2022).
- Проект «Чистая руда». — 2019. — URL: <https://digitalmining.ru/nominanty-2021/tpost/423mbjono1-chistaya-ruda> (дата обр. 01.02.2022).
- Рыльникова М. В., Клебанов Д. А., Макеев М. А. и др. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности // *Горная промышленность.* — 2022. — № 3. — С. 89–92. — DOI: [10.30686/1609-9192-2022-3-89-92](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-89-92).
- Хасанов М. М., Прокофьев Д. О., Ушмаев О. С. и др. Перспективные технологии Big Data в нефтяном инжиниринге: опыт компании «Газпром нефть» // *Нефтяное хозяйство.* — 2016. — № 12. — С. 76–79.
- Энергетический бюллетень. Перспективы мирового угольного рынка / под ред. А. Голяшев, А. Курдин, А. Коломиец и др. — Аналитический центр при правительстве Российской Федерации, 2021.
- Barnewold L., Lottermoser B. G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry // *International Journal of Mining Science and Technology.* — 2020. — Vol. 30, no. 6. — P. 747–757. — DOI: [10.1016/j.ijmst.2020.07.003](https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003).
- Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters // *Communications of the ACM.* — 2008. — Vol. 51, no. 1. — P. 107–113. — DOI: [10.1145/1327452.1327492](https://doi.org/10.1145/1327452.1327492).
- Dovgal V., Kuizheva S. Using Big Data Technology to Protect the Environment // *Russian Journal of Earth Sciences.* — 2022. — Vol. 22, no. 5. — P. 1–5. — DOI: [10.2205/2022es01si02](https://doi.org/10.2205/2022es01si02).
- Energy Institute. The EI Statistical Review of World Energy 2023. — 2023. — URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (visited on 07/10/2023).
- Global Change Data Lab. Electricity production by source, World. — 2022. — URL: <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-production-by-source> (visited on 07/10/2023).
- Jones D. Global Electricity Review 2021. — 2021. — URL: <https://ember-climate.org/global-electricity-review-2021/g20-profiles/china/> (visited on 02/04/2022).
- Odintsova A., Gvishiani A., Nakicenovic N., et al. The world's largest oil and gas hydrocarbon deposits: ROSA database and GIS project development // *Russian Journal of Earth Sciences.* — 2018. — Vol. 18, no. 3. — P. 1–14. — DOI: [10.2205/2018es000621](https://doi.org/10.2205/2018es000621).
- Ravat F., Zhao Y. Data Lakes: Trends and Perspectives // *Lecture Notes in Computer Science.* — Springer International Publishing, 2019. — P. 304–313. — DOI: [10.1007/978-3-030-27615-7\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27615-7_23).
- Reinsel D., Gantz J., Rydning J. The Digitization of the World. From Edge to Core. — 2018. — URL: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-data-age-whitepaper.pdf> (visited on 02/14/2022).
- Samorodova L., Lyubimov O., Yakunina Y. Application of SCADA Systems in the Coal Mining Industry // *Proceedings of the 8th Russian-Chinese Symposium «Coal in the 21st Century: Mining, Processing, Safety».* — Atlantis Press, 2016. — DOI: [10.2991/coal-16.2016.10](https://doi.org/10.2991/coal-16.2016.10).
- Schernikau L. Economics of the International Coal Trade. — Springer International Publishing, 2016. — P. 463. — DOI: [10.1007/978-3-319-46557-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46557-9).
- Soofastaei A. Data Analytics Applied to the Mining Industry. — 1st. — CRC Press, 2020. — P. 272.
- The International Energy Agency. Coal 2022. Analysis and forecast to 2025. — 2022. — URL: <https://www.iea.org/reports/coal-2022> (visited on 02/14/2023).

# BIG DATA AS A PRODUCT OF THE PREPARATION PLANT: REALITY AND PROSPECTS IN THE CASE OF COAL

A. D. Gvishiani<sup>1,2</sup> , I. M. Nikitina<sup>\*\*1</sup> , and I. M. Aleshin<sup>\*\*1,2</sup> 

<sup>1</sup>Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Schmidt Institute of the Physics of the Earth Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**\*\*Correspondence to:** Izabella Nikitina, i.nikitina@gcras.ru

The article examines the current and future flow of preparation's plant production processes and how they contribute to the generation of Big Data. It is shown that as the level of automation in the plant increases, the data produced becomes more extensive and varied. At the same time, it is possible to achieve a level when the generated information flows meet the criteria of the Big Data. As a basic example, a typical coal processing plant is used. The main sources, volumes, variety and speeds of data transfer to the processing plant are described and analyzed.

**Keywords:** big data, preparation plant, coal, mining industry, automation, information technology

**Citation:** Gvishiani, A. D., I. M. Nikitina, and I. M. Aleshin (2023), Big Data as a Product of the Preparation Plant: Reality and Prospects in the Case of Coal, *Russ. J. Earth. Sci.*, 23, ES3011, <https://doi.org/10.2205/2023ES000862>

Received: 28 June 2023

Accepted: 13 July 2023

Published: 15 September 2023



© 2023. The Authors.

## References

- Abrarov A. D., Datsiev M. S., Chikildin D. E., *et al.* Optimization of bulk flotation process at Talnakh Concentrator based on machine learning algorithms // *Tsvetnye Metally*. — 2022. — Vol. 2. — P. 87–93. — DOI: [10.17580/tsm.2022.02.11](https://doi.org/10.17580/tsm.2022.02.11). — (in Russian).
- Antipenko L. A., Sarin N. G. Automated Plant - Coal Processing Plant of the Future // *Mining information and analytical bulletin*. — 2017. — No. 2. — P. 5–13. — (in Russian).
- Approved by order of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service No. 428 dated October 28, 2020.* Safety rules for processing, enrichment and briquetting of coal. — Moscow : Federal Service for Environmental, Technological, Nuclear Supervision, 2020. — 149 p. — (Federal Industrial Safety Code). — (in Russian).
- Approved by order of the Government of the Russian Federation of June 13, 2020 N 1582-r.* Program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035. — Moscow : Government of the Russian Federation, 2022. — (Development Program). — (in Russian).
- Aslanova I. V. Mes as the basis for the development of enterprise process control systems // *Russian entrepreneurship*. — 2017. — Vol. 18, no. 11. — P. 1651–1658. — (in Russian).
- Avdokhin V. M. Coal cleaning. Volume 1. Processes and Machines. — Gornaya kniga, 2012. — P. 424. — (in Russian).
- Barnewold L., Lottermoser B. G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry // *International Journal of Mining Science and Technology*. — 2020. — Vol. 30, no. 6. — P. 747–757. — DOI: [10.1016/j.ijmst.2020.07.003](https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003).
- COP26: Glasgow Climate Pact : tech. rep. / UN Climate Change Conference. — Great Britain, Glasgow, 2021. — (in Russian).
- Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters // *Communications of the ACM*. — 2008. — Vol. 51, no. 1. — P. 107–113. — DOI: [10.1145/1327452.1327492](https://doi.org/10.1145/1327452.1327492).
- Dovgal V., Kuizheva S. Using Big Data Technology to Protect the Environment // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2022. — Vol. 22, no. 5. — P. 1–5. — DOI: [10.2205/2022es01si02](https://doi.org/10.2205/2022es01si02).

- Energy Bulletin. Prospects for the global coal market / ed. by A. Golyashev, A. Kurdin, A. Kolomiets, et al. — Analytical Center under the Government of the Russian Federation, 2021. — (in Russian).
- Energy Institute. The EI Statistical Review of World Energy 2023. — 2023. — (date of access 10.07.2023). <https://www.energyinst.org/statistical-review>.
- Flotation Operator Digital Twin Project. — 2019. — (date of access 01.02.2022), (in Russian). <https://digitalmining.ru/nominanty-2021/tpost/xfjx0krtil-tsfirovoi-dvoinik-operatora-flotatsii>, <https://digitalmining.ru/nominanty-2021/tpost/y68zveua61-avtomatizirovannaya-optimizatsionnaya-si>.
- Global Change Data Lab. Electricity production by source, World. — 2022. — (date of access 10.07.2023). <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-production-by-source>.
- GOST 17321-2015. Coal. Enrichment. Terms and Definitions. — Moscow : Standartinform, 2016. — 11 p. — (Interstate standard). — (in Russian).
- Gvishiani A. D., Dobrovolsky M. N., Dzeranov B. V., et al. Big Data in geophysics and other geosciences // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. — 2022. — Vol. 2022, no. 1. — P. 3–34. — DOI: [10.31857/S0002333722010033](https://doi.org/10.31857/S0002333722010033). — (in Russian).
- Gvishiani A. D., Panchenko V. Y., Nikitina I. M. Big Data Systems Analysis for Geosciences // *Vestnik RAS*. — 2023. — Vol. 6, no. 93. — P. 518–525. — DOI: [10.31857/S0869587323060087](https://doi.org/10.31857/S0869587323060087). — (in Russian).
- ITS 37-2017 "Coal mining and enrichment". ITS 37-2017 "Coal mining and processing". — Moscow : Buro NDT, 2017. — 294 p. — (Information and Technical Guide to Best Available Techniques). — (in Russian).
- Jones D. Global Electricity Review 2021. — 2021. — (date of access 04.02.2022). <https://ember-climate.org/global-electricity-review-2021/g20-profiles/china/>.
- Khasanov M. M., Prokofiev D. O., Ushmaev O. S., et al. Promising Big Data technologies in oil engineering: the experience of Gazprom Neft // *Oil industry*. — 2016. — No. 12. — P. 76–79. — (in Russian).
- Kondratyev V. B., Popov V. V., Kedrova G. V. Global coal market: current situation and perspectives // *Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost)*. — 2019. — Vol. 144, no. 2/2019. — P. 6–12. — DOI: [10.30686/1609-9192-2019-2-144-6-12](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-2-144-6-12). — (in Russian).
- Kuchumova A. Coal cleaning rates. — 2021. — (in Russian). <https://dprom.online/chindustry/stavki-na-obogashhenie-uglya/>.
- Lukichev S. V. Digital past, present, and future of mining industry // *Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost)*. — 2021. — No. 4. — P. 73–79. — DOI: [10.30686/1609-9192-2021-4-73-79](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-73-79). — (in Russian).
- Mayer-Schoenberger V., Kukier K. Big data. A revolution that will change the way we live, work and think. — Moscow : Mann, Ivanov, Ferber, 2014. — P. 240. — (in Russian).
- Ministry of Energy of the Russian Federation. Report of the Ministry of Energy of the Russian Federation on the implementation of the Russian Coal Industry Development Program for the period up to 2035 in 2020 : tech. rep. / Letter of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated May 28, 2021 No. AYа-6203/22. — 2021. — (in Russian).
- Odintsova A., Gvishiani A., Nakicenovic N., et al. The world's largest oil and gas hydrocarbon deposits: ROSA database and GIS project development // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2018. — Vol. 18, no. 3. — P. 1–14. — DOI: [10.2205/2018es000621](https://doi.org/10.2205/2018es000621).
- Osipov E. How to make friends between industry and big data. — 2019. — (date of access 14.04.2022). <https://habr.com/ru/companies/croc/articles/466933/>.
- Petrenko I. E. Russia's coal industry performance for January - December, 2022 // *Ugol'*. — 2023. — No. 03. — P. 21–33. — DOI: [10.18796/0041-5790-2023-3-21-33](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-21-33). — (in Russian).
- Pure Ore Project. — 2019. — (date of access 01.02.2022), (in Russian). <https://digitalmining.ru/nominanty-2021/tpost/423mbjono1-chistaya-ruda>.
- Ravat F., Zhao Y. Data Lakes: Trends and Perspectives // *Lecture Notes in Computer Science*. — Springer International Publishing, 2019. — P. 304–313. — DOI: [10.1007/978-3-030-27615-7\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27615-7_23).
- Reinsel D., Gantz J., Rydning J. The Digitization of the World. From Edge to Core. — 2018. — (date of access 14.02.2022). <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-data-age-whitepaper.pdf>.
- Rylnikova M. V., Klebanov D. A., Makeev M. A., et al. Application of artificial intelligence and the future of big data analytics in the mining industry // *Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost)*. — 2022. — No. 3/2022. — P. 89–92. — DOI: [10.30686/1609-9192-2022-3-89-92](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-89-92). — (in Russian).
- Samorodova L., Lyubimov O., Yakunina Y. Application of SCADA Systems in the Coal Mining Industry // *Proceedings of the 8th Russian-Chinese Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Processing, Safety"*. — Atlantis Press, 2016. — DOI: [10.2991/coal-16.2016.10](https://doi.org/10.2991/coal-16.2016.10).

- Schernikau L. Economics of the International Coal Trade. — Springer International Publishing, 2016. — P. 463. — DOI: [10.1007/978-3-319-46557-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46557-9).
- Soofastaei A. Data Analytics Applied to the Mining Industry. — 1st. — CRC Press, 2020. — P. 272.
- SUEK. Integrated annual report for 2020. Sustainability through diversification : tech. rep. / SUEK. — 2021. — P. 178. — (in Russian).
- The International Energy Agency. Coal 2022. Analysis and forecast to 2025. — 2022. — (date of access 14.02.2023). <https://www.iea.org/reports/coal-2022>.
- Zakharov V. N., Gvishiani A. D., Vaisberg L. A., *et al.* Big Data and sustainable functioning of geotechnical systems // Gornyi Zhurnal. — 2021. — Vol. 11. — P. 45–52. — DOI: [10.17580/gzh.2021.11.06](https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.06). — (in Russian).
- Zakharov V. N., Kaplunov D. R., Klebanov D. A., *et al.* Methodical approaches to standardization of data acquisition, storage and analysis in management of geotechnical systems // Gornyi Zhurnal. — 2022. — No. 12. — P. 55–61. — DOI: [10.17580/gzh.2022.12.10](https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10). — (in Russian).
- Zhdaneev O. V., Oleneva O. N. Priority trends in the development of Russian software for the coal industry. Part 2 // Ugol'. — 2021. — Vol. 6, no. 07. — P. 18–22. — DOI: [10.18796/0041-5790-2021-7-13-19](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-7-13-19). — (in Russian).