



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Уральская горнопромышленная декада

**Всероссийская научно-практическая конференция**

**«ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ  
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И  
МАШИНОСТРОЕНИИ»**

**5 апреля 2022 года**

**Сборник докладов**

**Екатеринбург - 2022**

## Оргкомитет конференции

Председатель: **Душин А.В.** – УГГУ, ректор д.э.н .

Заместитель председателя: **Апакашев Р.А.** – УГГУ, проректор по научной работе, д.х.н., проф.

Сопредседатели:

**Симисинов Д.И.** - УГГУ, заместитель проректора по научной работе, к.т.н., доц.;

**Бочков В.С.** – УГГУ, зав. кафедрой автоматике и компьютерных технологий, к.т.н., доц.;

**Садовников М.Е** – УГГУ, зав. кафедрой электрификации горных предприятий, к.т.н., доц.;

**Члены оргкомитета:**

**Бабенко А.Г.** – УГГУ, кафедра автоматике и компьютерных технологий, профессор, д.т.н.;

**Матвеев В.В.** – УГГУ, кафедра автоматике и компьютерных технологий, доцент, к.т.н.;

**Лядский В.Л.** – УГГУ, кафедра автоматике и компьютерных технологий, доцент, к.т.н.;

**Великанов В.С.** – МГТУ им. Г.И. Носова, каф. вычислительной техники и программирования, доцент, д.т.н.

**Редакционная коллегия:**

Бабенко А.Г (отв. ред.), Лядский В.Л. (отв. ред),

Цифровая трансформация в горной промышленности и машиностроении: материалы Всероссийской научно-практической конференции/отв. ред. А.Г. Бабенко, отв. ред. В.Л. Лядский - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2022. - 68 с.

Сборник содержит статьи участников I Международной научно-практической конференции «Цифровая трансформация в горной промышленности и машиностроении», организованной по инициативе кафедры Автоматики и компьютерных технологий УГГУ (Россия). Материалы посвящены современным проблемам цифровизации производства, решениям задач технологий информационного моделирования в России и за рубежом и их практической реализации на горных и машиностроительных предприятиях/

Издание предназначено широкому кругу специалистам предприятий, научных работников и преподавателей, а также аспирантам и студентам, интересующихся проблемами цифровой трансформации и методики преподавания её основ в вузе.

УДК 621

© Уральский государственный горный университет, 2022

© Авторы, постатейно, 2022

## Оглавление

Черепанов В.В. Управленческие и экономические предпосылки цифровой трансформации в горной промышленности .....	6
Карякин А. Л., Мухлынин Н. Д., Дегтярёв Е. А., Самойленко В. О. Дистанционный контроль работы электротехнических комплексов технологического оборудования горных предприятий по форме и параметрам питающего напряжения, тока и мощности .....	10
Колета С. А. Сараева Е.Н. Цифровые модели местности – как основа дорожно-транспортного строительства.....	18
Ломако Л.С. Игуменов А.В. Три шага к цифровому руднику вместе с отечественной гтис майнфрэйм.....	22
Лядский В.Л., Голец К.П., Никулин А.В. Система акустического мониторинга как основа цифровизации горной промышленности .....	25
Батралиев Р.Ш., Харин А.Д., Нуриев Д.Р., Туртыгина Н.А. Цифровая трансформация на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ».....	31
Великанов В.С. Индустрия 4.0 и перспективы развития цифровых технологий в горнодобывающей промышленности.....	34
Богинский В.К. Меньше знаешь - крепче спишь. какие проблемы становятся очевидными после внедрения мониторинга на промышленных предприятиях? .....	38
Захарова Г.Б. Практический опыт интеграции инновационных технологий в образовательный процесс архитекторов .....	45
Русакова Е.А., Егоров В.Б. Передача видеоизображений производственных процессов по ЦСЛ С ИКМ .....	52
Тельманова Е.Д., Родыгин А.А. Оптимизация электропотребления самоходной буровой установкой при производстве горнопроходческих работ.....	55
Шнайдер И. В. , Абдрахманов М. И. , Лапин С. Э. Создание цифровой модели горного массива в процессе ведения проходческих работ методом сейсмозондирования .....	60
Усков К.А., Молчанов М.В., Таланкин Н.Н., Макаров Н.В. Определение влияния параметров структурных элементов проточной части вентиляторных установок на аэродинамический коэффициент полезного действия для аппаратов воздушного охлаждения.....	64



### **Уважаемые коллеги!**

Развитие машиностроения и горнодобывающей промышленности сопровождается активизацией научно–исследовательской и проектно-конструкторской деятельности, что способствует экспоненциальному росту базы новых знаний и новых технологий в этой сфере. Зарождающаяся в мире глобальная четвертая промышленная революция создает новаторские промышленные и экономические модели новой индустрии (Индустрии 4,0) в основе которой лежат передовые достижения автоматизации 21 века, Интернет вещей, большие данные и искусственный интеллект.

В этих условиях, высшая школа пересматривает свои подходы к содержанию и качеству учебных программ и формированию цифровых компетенций обучаемых. Считаю, что проводимая в рамках юбилейной

20-й Уральской горнопромышленной декады, Всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая трансформация в горной промышленности и Машиностроении» обеспечит достойное решение этих задач и будет хорошей традицией.

От всей души приветствую участников конференции и желаю плодотворной интересной работы.

**Ректор Уральского государственного горного университета**

**А.В. Душин**

В Уральском горном университете 5 апреля 2022 года впервые прошла конференция «Цифровая трансформация в горной промышленности и машиностроении». Конференция объединила на одной площадке ведущие предприятия горнодобывающей, машиностроительной, электротехнической, микроэлектронной и IT отраслей. На конференции выступили руководители и ведущие специалисты компаний – лидеров своих отраслей, таких как ПАО «Уралмашзавод», УГМК, РМК, ПАО ГМК «Норильский Никель», ПАО «Ураласбест», ООО «Ингортех», НПП «Горизонт», Прософт Системы и многие другие.

Участники конференции представляющие машиностроительную отрасль, в частности, ПАО «Уралмашзавод» рассказали в рамках своих выступлений о применении цифровых двойников при проектировании отдельных ответственных элементов, например, гидравлической системы разгрузки конусной дробилки или крупных заготовок для горных машин. Применение цифрового двойника позволяет значительно упростить процесс проектирования и проверки основных систем производимого оборудования и при этом в металле изготавливается уже практически полностью испытанная система, что удешевляет и ускоряет процесс её изготовления.

Для горнодобывающих предприятий цифровая трансформация не имеет альтернативы - это позволяет кардинально повысить управляемость и эффективность производственного процесса, обеспечить его предсказуемость. При этом отдают предпочтение отечественным системам автоматизированного управления горным производством. Данный факт подтвердили и участники – разработчики и производители систем автоматизации которые рассказали о своих разработках для горнодобывающей промышленности.

Благодаря проведению такого рода научно—практических мероприятий и реализуется налаживание связей между различными сферами горного машиностроения, горными предприятиями и научным сообществом. Это позволяет в конечном итоге повысить уровень проводимых прикладных исследований учеными Уральского горного университета, обменяться мнениями с представителями производства и получить возможность внедрения научных разработок в реальный сектор экономики России.

**Организаторы конференции:**

Д.И. Симисин, заведующий кафедрой эксплуатации  
горного оборудования

В.С. Бочков, заведующий кафедрой автоматизации и  
компьютерных технологий

В.Л. Лядский, доцент кафедры автоматизации и компьютерных  
технологий

УДК 621.31

## УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Черепанов В.В.

Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма

**Аннотация.** Цифровая трансформация активно проводится в горной отрасли в целом ряде направлений [Рыльников, Пыталев, 2020], в большинстве из которых она обусловлена техническими или технологическими причинами. В то же время цифровая трансформация имеет управленческие и экономические предпосылки, принятие во внимание которых позволит более точно сформулировать задачи мероприятий цифровой трансформации и ожидаемый эффект их проведения. В связи с этим рассмотрение таких предпосылок представляет научный и практический интерес.

**Ключевые слова:** управление цифровой трансформацией, предпосылки цифровой трансформации.

Введение.

Проведение цифровой трансформации в горной промышленности активно развивается и даже приводит к появлению и исследователям предложений по организации новых форм деятельности, таких как «облачное горное производство» [Vi et al., 2022].

Несмотря на ориентир в области поиска новых форм деятельности, цифровая трансформация все же, ориентирована на получение экономического эффекта за счет изменения или замены отдельных технических решений, а управленческие и экономические предпосылки в полном объеме могут быть не приняты во внимание.

Современная цифровая трансформация берет свои истоки из концепций Индустрии 4.0<sup>1</sup>, которые, в действительности, направлены не на тотальную автоматизацию и роботизацию труда, а на повышение гибкости деятельности предприятия. Такая гибкость позволяет оперативно менять и подстраивать деятельность предприятия под изменения условий экономической и организационной среды, сохраняя и даже обеспечивая повышение эффективности его деятельности.

Многие организации начинают цифровую трансформацию с внедрения отдельных решений, так называемых кейсов цифровой трансформации, но все же важным представляется формирование ясного видения предпосылок проведения цифровой трансформации.

В своей работе [Попов, Симонова, Черепанов, 2021] об инструментах поиска места приложения цифровых трансформационных решений автор отмечает, в рамках авторского подхода, что цифровая трансформация представляет собой повышение уровня цифровой зрелости, которая, в свою очередь, состоит в замещении человеческого интеллектуального и физического труда, а также его роли в управлении машинами и производственным процессом компонентами цифровых технологий. При этом, точки приложения цифровых трансформационных решений могут быть найдены в следующих областях:

1. Принятие решения в ограниченных временных интервалах, в ходе которых необходимо обработать значительный объем информации.
2. Устранение несовершенств процесса или качества его выполнения из-за ограниченных возможностей в обработке информации.
3. Изменение способа предоставления продукта или услуги потребителям, которые ожидают мгновенного удовлетворения своих потребностей.

---

<sup>1</sup> Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 - <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/>

4. Преодоление времени или расстояния, ограничивающих взаимодействие.
5. Передача права принятия решения цифровым технологиям, которые должны заменить людей на определенном участке процесса или в процессе в целом.
6. Повышение доступности участников процесса для коммуникации или взаимодействия.
7. Преодоление вредных условий труда или рабочей среды, которые можно игнорировать, если трудовые операции передаются роботизированным установкам или автономным роботам.

Еще в 2017 году Всемирный экономический форум оценил потенциальный экономический эффект от цифровой трансформации, который может быть получен для горной отрасли до 2025 года во всем мире в 56 млрд. долларов США добавленной стоимости<sup>2</sup>. Тенденция к получению дополнительного эффекта сохранилась. Изучив ее, автор выявил ряд закономерностей и сформулировал экономические и управленческие предпосылки цифровой трансформации с учетом особенностей горной отрасли.

#### 1. Экономические предпосылки цифровой трансформации

Отдельные исследователи на примере нефтегазовой отрасли видят внедрение цифровых технологий в качестве основного инструмента повышения отраслевой эффективности [Куклина, Семкова, 2020]. В то же время, вопрос получения экономического эффекта остается актуальным, и он является базовой экономической предпосылкой проведения цифровой трансформации в горной отрасли, где задача снижения издержек производства активно стоит на повестке дня.

Проведение цифровой трансформации в ходе внедрения трансформационного решения неизбежно меняет процесс, либо создает его заново в ходе замещения в нем людей и аналоговых машин цифровыми технологиями.

Оценить эффект таких изменений можно только одним путем: оценкой изменения стоимости процесса, либо его результата.

Автор предлагает для этого использовать два подхода:

$$\mathcal{E} = CПн + CTP - CПд$$

Где:

$\mathcal{E}$  – эффект цифровой трансформации процесса

$CПн$  – совокупные затраты на поддержание процесса в единицу времени, выбранную для анализа, после его цифровой трансформации. Например, за одну рабочую смену.

$CTP$  – совокупная стоимость трансформационного решения, включая сумму расходов на его тестирование

$CПд$  – совокупные затраты на поддержание процесса в единицу времени, выбранную для анализа, после его цифровой трансформации. При этом должна быть выбран тот же интервал наблюдения, что и для показателя  $CПн$ .

Полученное таким образом снижение стоимости процесса будет прямым эффектом цифровой трансформации за выбранную единицу времени. Совокупный эффект цифровой трансформации процесса может быть равен сумме того же эффекта за период эксплуатации трансформационного решения. В этом случае к показателю совокупной стоимости трансформационного решения следует добавить расходы на его обслуживание за период.

В том случае, если процесс увеличился в стоимости, либо цели цифровой трансформации были направлены на повышение объема выпуска продукции оценить эффект цифровой трансформации можно как снижение стоимости производства единицы продукции после цифровой трансформации, при условии, что увеличение объема производства было необходимым. Иными словами, должна снизиться либо стоимость процесса в единицу времени, либо стоимость единицы выпускаемой продукции.

<sup>2</sup> <https://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf> - Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

## 2. Управленческие предпосылки цифровой трансформации

Исследователи отмечают [Байкова, Громыко, 2021] ряд эффектов от проведения цифровой трансформации в отрасли в целом, выбрав в качестве объекта анализа нефтегазовый комплекс. Однако, получение таких эффектов на уровне предприятия, а не отрасли, не раскрывается.

В дополнение к цели получения экономического эффекта в ходе анализа кейсов цифровой трансформации и обсуждения проектов внедрения цифровых технологий автор выявил ряд управленческих предпосылок проведения цифровой трансформации, основанных на ожидаемом эффекте ее проведения.

Таковыми дополнительными направлениями получения эффекта в управленческом ракурсе являются:

1. Организационный эффект может быть достигнут за счет ускорения взаимодействия людей между собой, а также людей и машин. Кроме того, он может быть достигнут за счет исключения человека из процесса принятия решений в ограниченных интервалах времени.

2. Инфраструктурный эффект может быть получен за счет снижения совокупной стоимости владения инфраструктурой процесса, либо его участка, если оно возникает после внедрения цифрового решения. Однако, более важным является эффект создания развивающейся инфраструктуры, которая дает возможности получения новых результатов, которые ранее и нельзя было планировать. Например, при внедрении автоматизированного сбора данных становится возможным не только мониторинг процесса, но и его изучение с использованием методов машинного обучения.



Рис. 1 – Управленческие и экономические предпосылки цифровой трансформации

3. Процессный эффект выражается в сокращении объема участия людей в процессах, либо в целом снижения уровня задержек в выполнении процессов, оценить которые экономически можно через стоимость простоев, время которых будет снижено.

4. Снижающий риски эффект может быть очевидным, но для горной отрасли он также может быть важнейшим. Снижение уровня опасности нахождения людей на производстве – важнейшая цель, которая может быть поставлена в ходе выбора и внедрения трансформационного решения.

5. Мотивирующий или культурный эффект может возникнуть за счет того, что при внедрении трансформационного решения будут созданы возможности принятия решений на основе данных, что приведет к повышению уровня их качества, либо создаст предпосылки для развития культуры взаимодействия, что позволит получить эффект от использования коллективных компетенций и быстрого информационного обмена.

Поскольку цифровая трансформация является сложным процессом, требующим вовлечения большого количества людей и технологий, как правило, дело не ограничивается получением эффекта в одном из перечисленных направлений. Кроме того, получение экономического эффекта постепенно нарастает по мере глубокого внедрения цифровых решений в практику деятельности предприятия.

Закключение.

Цифровая трансформация, как управленческая практика, будет развиваться во всех отраслях экономики. Не исключено, что в самом ближайшем будущем практика цифровой трансформации станет обязательным управленческим навыком в горной отрасли, поскольку потенциальный ее эффект и ожидания значительны.

Независимо от того, насколько существенными будут требования к компетенциям управленцев в этой области, следует иметь в виду, что цифровая трансформация имеет не только технологические причины, но и может быть основана на глубоких экономических и управленческих предпосылках.

Литература

1. Рыльников А.Г., Пыталев И.А. «Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: технические решения и технологические вызовы» // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2020, Выпуск 1, стр. 470 – 481.

2. Bi L., Wang Z., Wu Z., Zhang Y. “A New Reform of Mining Production and Management Modes under Industry 4.0: Cloud Mining Mode”, Appl. Sci. 2022, 12, 2781. <https://doi.org/10.3390/app12062781>.

3. Попов Е.В., Симонова В.Л., Черепанов В.В. «DIGITAL-анализ в цифровой трансформации» // Экономика и управление. 2021. Т. 27. № 9. С. 672–686. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2021-9-672-686>.

4. Куikliна Е.А., Семкова Д.Н. «Цифровые технологии как ключевой инструмент повышения эффективности нефтегазовой отрасли России в современных условиях функционирования» // Управленческое консультирование, 2020, №4 (136), стр. 53-65.

5. Байкова О.В., Громыко Е.О. «Эффекты цифровой трансформации в нефтегазовом комплексе» // Вестник ГУУ. 2021. №6, стр. 77 – 81.

УДК 621.31

## ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ФОРМЕ И ПАРАМЕТРАМ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ, ТОКА И МОЩНОСТИ

Карякин А.Л.<sup>1</sup>, Мухлынин Н.Д.<sup>2</sup>, Дегтярёв Е.А.<sup>1</sup>, Самойленко В.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>ФБГОУ ВО «Уральский государственный горный университет»<sup>2</sup>ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина"

**Аннотация.** В статье представлены математические основы и результаты решения задачи повышения коэффициента использования технологического оборудования предприятия путем контроля времени работы и простоя на основе анализа в реальном времени переходных процессов включения-отключения электродвигателей и других электроприемников на шинах распределительных устройств и подстанций. Приведено описание промышленного эксперимента. Показано, что для повышения показателя точности распознавания образов электроприемников необходим подход, основанный на комбинации анализа мгновенных значений токов и напряжений и на выявлении характера изменения их действующих величин. Подтверждена возможность распознавания состояния каждого из однотипных электроприёмников, подключенных к общей секции шин.

**Ключевые слова:** неинтрузивный мониторинг, электроприёмник технологического оборудования, разукрупнение нагрузки, вейвлет-преобразование, временной ряд, распознавание.

В условиях горных производств с подземным и открытым способами добычи полезных ископаемых, которые характеризуются значительной удалённостью электроприёмников друг от друга и, часто, отсутствием каналов передачи информации о состоянии оборудования, задача контроля технологического состояния горных машин и комплексов не может быть решена классическими методами на основе систем «датчики-ПЛК-SCADA».

В таких условиях перспективным является неинтрузивный мониторинг электрической нагрузки (НМЭН) технологического оборудования, с целью анализа в реальном времени переходных процессов включения-отключения электродвигателей и других электроприемников на шинах распределительных устройств и подстанций, и последующая идентификация технологических режимов работы машин и механизмов.

Задачей НМЭП является разукрупнение (disaggregation) нагрузки – идентификация каждого электроприёмника в электрической сети по объединённому графику нагрузки и кривым напряжения и тока на шинах распределительного устройства.

Технология НМЭН определяет, какие электрические нагрузки работают в пределах объектов контроля. Такие объекты включают офисные и жилые помещения и здания, промышленные объекты, или отдельные электроприёмники в составе электротехнического комплекса производственной машины или установки.

Первые работы в области разукрупнения нагрузки в иностранных источниках опубликованы Дж. Хартом (George Hart) [1, 2].

Он предложил установить дистанционный прибор (устройство) мониторинга в цепи полной нагрузки. Прибор определял характер и количество подключенных нагрузок. В [1, 2] показано, что по объединённому графику нагрузки за период 24 часа можно получить разукрупнённые графики отдельных устройств, характеризующие форму и время электропотребления: холодильника, посудомоечной машины, кухонных розеток,

освещения, стиральной машины, сушилки, потребление других электроприёмников. Следует отметить, что большое количество исследователей используют электроприёмники этого типа для изучения методов контроля.

Согласно [2] устройства можно разделить на три основных типа: приборы включения / выключения, которые имеют только два различных состояния работы, такие как лампы и электродвигатели; устройства с несколькими состояниями, обычно представленные в виде конечного автомата, которые имеют конечный набор рабочих состояний, например стиральные машины; приборы непрерывного действия, которые можно рассматривать как обобщение предыдущих, которые имеют переменные уровни мощности и бесконечное число состояний, такие как электроинструменты и регулируемый электропривод.

В математической форме постановка задачи декомпозиции объединённого графика нагрузки формулируется следующим образом: за период времени  $T$ ,  $\tilde{x} \in \square^T$  выполнить декомпозицию временного ряда

$$\tilde{x} = [\tilde{x}(1), \tilde{x}(2), \dots, \tilde{x}(T)]^T$$

в сигналы  $x_i \in \square^T, i = 1, \dots, k$ , связанные с каждым устройством или электрической цепью,

$$x_i = [x_i(1), x_i(1), \dots, x_i(T)]^T.$$

Предполагается, что объединённый график  $\tilde{x}$  является суммой сигналов

$$\tilde{x}(t) = \sum_{i=1}^k x_i(t).$$

Харт в [1] предложил метод анализа устойчивых состояний. Алгоритм Харта: данные – одноточечные измерения агрегированной мощности, результат – идентификация каждого потребителя в электрической сети. Процедура:

1. Идентификация изменений в стационарном состоянии («детектор фронта»).
2. Выполнение кластерного анализа для определения местоположения этих изменений в двумерном пространстве  $P-Q$ , определяемом активной и реактивной мощностями («пространство сигнатур»).
3. Сопоставление кластеров с одинаковой величиной и противоположным знаком.
4. Ассоциация несопоставленных кластеров с существующими или новыми кластерами в соответствии с алгоритмом наилучшего правдоподобия («разрешение аномалий»).
5. Назначение удобочитаемых меток в соответствии с базой данных.

Метод анализа устойчивых состояний был развит в других работах (Norford and Leeb, 1996; Laughman et al., 2003) [3, 4].

Недостатками метода устойчивых состояний являются невозможность распознавать различные устройства с перекрывающимися сигнатурами в заданном двумерном пространстве по мере того, как увеличивается количество различных электроприёмников.

Рассмотренный метод сигнатур позволяет выделить три этапа, характерные для всех последующих методов: получение электрического сигнала (сбор данных); извлечение важных событий и / или характеристик для определения электрической сигнатуры (подписи) устройства; классификация событий для идентификации устройства (модели обучения и классификации для идентификации нагрузки).

В более поздних работах определены следующие параметры электрического сигнала для дистанционного контроля.

- 1) Активная и реактивная мощности, вычисленные по дискретным значениям напряжения и тока. Минимальная частота квантования составляет 100 Гц.
- 2) Гармоники тока, определяемые с частотой дискретизации около 1,2-2 кГц, при этом показано, что никакая гармоника выше 11-й не представляет интереса (Zeifman and Roth, 2011) [5].

3) Переходный период между двумя стационарными состояниями включено / выключено (переходными сигнатурами). При этом частота дискретизации должна быть порядка килогерц или, даже, мегагерц (Patel et al. (2007) [6].

Например, высокочастотные приборы применяются для промышленного мониторинга (Berges et al., 2011; Zoha et al., 2012) [7, 8]. Когда целью является захват переходного процесса при пуске, частота может варьироваться от 8 кГц (Laughman et al., 2003) [4] до 50 кГц (Ting et al., 2005) [9].

Современная классификация методов выделения характеристик сигналов для определения электрической сигнатуры устройства включает три большие группы методов: анализ устойчивых состояний путём выявления изменений в измерениях мощности, анализ устойчивых состояний путём оценки гармонических свойств сигналов и анализ переходных процессов по форме, величине и длительности сигналов.

Методы каждой группы имеют различную точность идентификации состояния электроприёмников и отличаются стоимостью реализации.

Ключевым элементом для точной идентификации устройства является электрическая сигнатура, состоящая из параметров функций, полученных из входных данных, что требует сбора исходной информации. Сигнатуры могут быть получены в ручном режиме и режиме обучения на основе априорной информации.

По сравнению с методом анализа устойчивых состояний сигнатуры переходных процессов имеют следующие особенности: высокие требования к частоте дискретизации; могут быть менее информативными по сравнению с сигнатурами устойчивых состояний; могут быть описаны формой, размером, продолжительностью и постоянными времени [2]; отличаются для электроприёмников с одинаковой сигнатурой устойчивого состояния.

Последняя особенность из перечисленных является принципиальной для решения задачи определения состояния электроприёмников одинаковой мощности.

Первоначальный метод, основанный на оценке сигнатур переходных процессов (Leeb et al., 1993) [10], состоял в следующем. Определяют переходные сечения со значительными вариациями, называемыми  $v$ -сечениями, а не всю переходную форму волны. Затем применяется фильтр для извлечения отличительных признаков для каждого электроприёмника с использованием спектральных огибающих (кривая в плоскости частота - амплитуда, полученная из спектра амплитуд Фурье) текущего сигнала.

Сигнатуры устойчивых состояний на основе гармонических характеристик сигналов могут быть получены путём применения преобразования Фурье (ПФ) и его разновидностей, или вейвлет-преобразования (ВП) и его разновидностей.

Вейвлет-преобразование является альтернативой быстрому преобразованию Фурье (БПФ), поскольку предоставляется информация о времени и частоте. Следовательно, гармонический анализ может быть выполнен с использованием вейвлетов, как было исследовано (Chan et al., 2000) [11].

Эти «микроскопические» функции (гармоники и формы сигналов), используемые в качестве дополнения к «макроскопическим» (изменения мощности), требуют высокой частоты дискретизации. Минимальное значение должно составлять около 1,2-2 кГц. Однако этот минимум может привести к ограничениям передачи и хранения (Zeifman and Roth, 2011) [12].

Основным достоинством вейвлетов является представления результатов в частотной и временной области одновременно. Это достигается путем сдвига (по параметру  $b$ ), а также сжатия и растяжения материнской (по параметру  $a$ ) вейвлет-функции

$$\psi_{ab}(t) = a^{-1/2} \psi_0 \left( \frac{t-b}{a} \right),$$

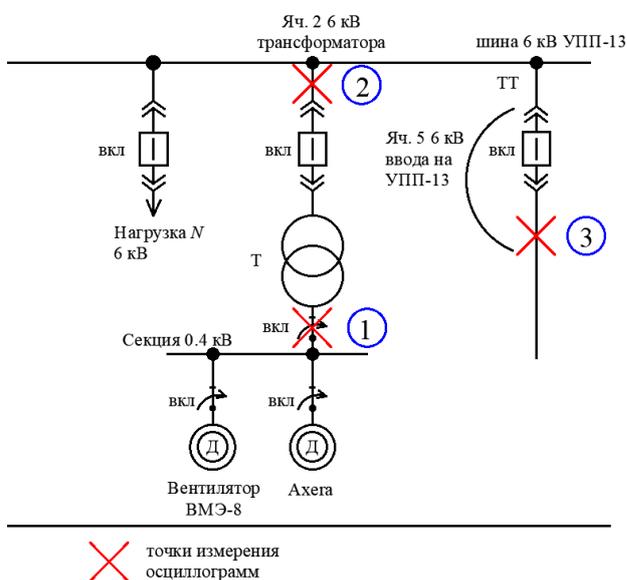
где  $a$  - это параметр, задающий масштаб вейвлетов (изменение по ширине);  $b$  - положение (перемещение по оси времени):  $\psi_0$  - функция преобразования, которая называется материнским вейвлетом или базисной функцией;  $t$  - время;  $a^{-1/2}$  - константа,

обеспечивает постоянство энергии сигнала для каждого масштаба.

Проведены эксперименты по выделению сигнатур переходных состояний электроприёмников на подземном руднике в сетях 6/0,4 кВ и сетях 0,4 кВ.

Использована следующая процедура распознавания нагрузки вейвлет-преобразованием.

1. Нормализация сигналов.
2. Вычисление дискретных вейвлет-коэффициентов.
3. Определение локальных особенностей сигнала по сочетанию признаков попарных коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования материнским вейвлетом Хаара на периоде сигнала, представленном 256 точками.
4. Создание уникальных для данного типа электроприёмников вейвлет-функций с нулевым средним значением, локализованных по оси аргументов (независимых переменных), инвариантных к сдвигу и линейных к операции масштабирования (сжатия/растяжения).



На рисунке 1 представлены точки распознавания нагрузок в поясе присоединений участковой понижающей подстанции (УПП).

Из рисунка следует, что возможные сочетания нагрузок следующие: на стороне 0,4 кВ (т. 1) – вентилятор ВМЭ-8, бурильная установка Ахега, вентилятор и бурильная установка; на стороне 6 кВ обмотки высшего напряжения трансформатора (т. 2) – то же, что и в т. 1, на стороне ввода 6 кВ (т. 3) – то же, что и в т. 1.

Рисунок 1 – Точки распознавания нагрузок в поясе присоединений участковой понижающей подстанции

На рисунке 2 представлены точки распознавания нагрузок в поясе присоединений центральной распределительной подстанции (ЦРП).

Из рисунка следует, что возможные сочетания нагрузок следующие: в т. 4 – насос № 1; в т. 5 – насос № 3; в т. 6 – насосы № 1 и № 3, насос № 3.

Экспериментально установлен уровень порогового значения распознавания состояния электроприёмников, отличающийся для уровней напряжения 6 и 0,4 кВ.

Алгоритм распознавания образов нагрузок предусматривает обучение в два этапа. На первом этапе происходит предварительная загрузка образов нагрузок, сформированных на основе снятых осциллограмм на зажимах электроприемников во время испытаний их под нагрузкой до установки на производственной площадке. Таким образом, заводом-изготовителем может быть создан портфель образов, передаваемых вместе с купленным оборудованием заказчику.

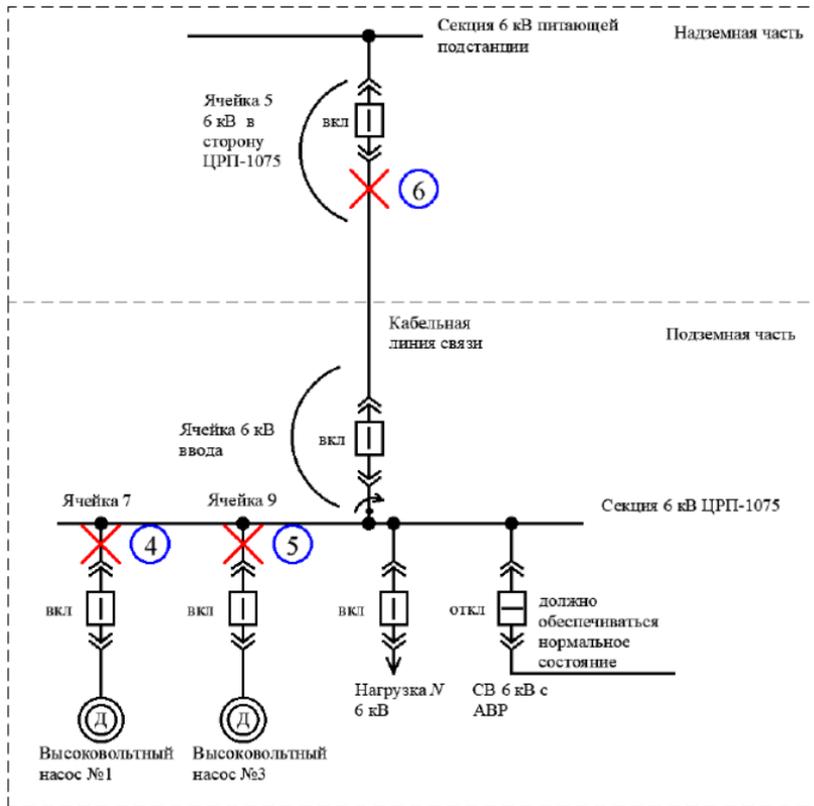


Рисунок 2 – Точки распознавания нагрузок в поясе присоединений центральной распределительной подстанции

На втором этапе происходит настройка работы алгоритма для определения порога распознавания образа нагрузки, методом открытого эксперимента с заранее известным составом нагрузки.

Подтверждена возможность распознавания всех сочетаний нагрузок, подключенных к шинам понизительной и распределительной подстанций.

На рисунке 3 показаны результаты распознавания переходных состояний электроприёмников при различных сочетаниях нагрузки на секции шин 0,4 кВ УПП (рис. 1).



Предварительно, для правильной работы алгоритма, выполнена его настройка (обучение), путем контрольной проверки заранее известного состава электроприёмников, и определена граница распознавания.

Рисунок 3 – Распознавание нагрузок на уровне 0.4 кВ яч. 2 трансформатора УПП

Граница распознавания устанавливает минимально необходимое для принятия решения значение коэффициентов разложения сигнала материнской вейвлет-функцией.

Для точки № 1 в УПП граница распознавания электроприемников 0.4 кВ соответствует значению коэффициентов, близком к 28. Условием распознавания включенного состояния электроприёмника является значение коэффициентов разложения сигнала вейвлетом, «настроенным», или наиболее чувствительным, к форме сигнала данного электроприёмника, не превышающее пороговый уровень.

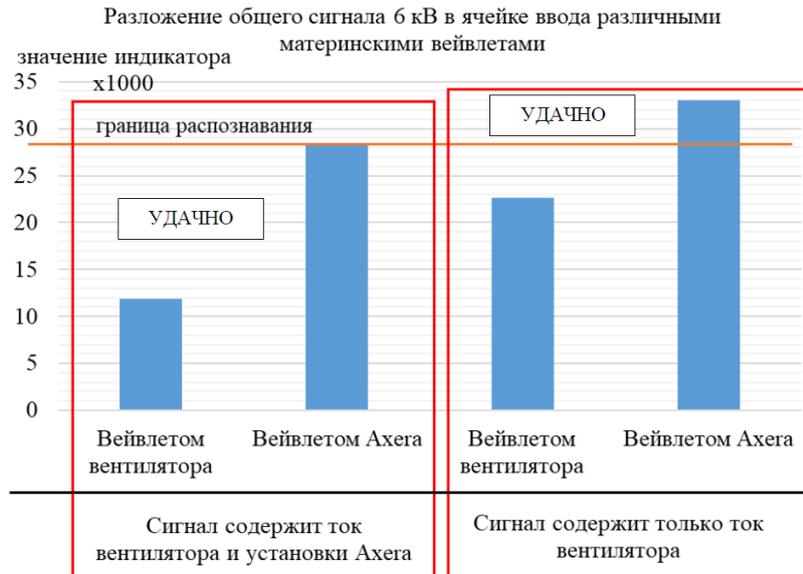


Рисунок 4 – Распознавание нагрузок на уровне 6 кВ яч. 5 ввода УПП

Та же граница срабатывания алгоритма была использована в точке № 3 УПП – на вводящей питающей ячейке. На рисунке 4 показано успешное распознавание смешаной нагрузки и вентилятора в отдельности по сигналу тока напряжением 6 кВ

Проведён эксперимент по схеме, показанной на рисунке 2, по распознаванию образов двух одинаковых электроприемников, обладающих одинаковым конструктивным исполнением, мощностью и моментом нагрузки. Для этого предложенная методика использована для сигналов двух водоотливных насосов 6 кВ в точка № 4 и № 5 ЦРП в подземной части рудника и в точке № 6 РУ-6 кВ в надземной части рудника (рисунок 2). Цель эксперимента заключалась в определении возможности контроля работы каждого из электродвигателей одинакового типа в насосных агрегатах подземной части рудника по сигналу тока РУ-6 кВ поверхностного комплекса рудника.

На рисунке 5 показаны результаты перекрестного вейвлет-разложения сигналов тока фазы *A* в указанных точках пакетами материнских вейвлетов для электродвигателя насосного агрегата № 1 и для электродвигателя насосного агрегата № 3.

Как видно из рисунка, на основе предложенной методики в каждом случае определён состав нагрузки при обработке общего токового сигнала фазы *A*. Распознавание образов стало возможным также по данным осциллограмм, снятых на измерительных клеммах ячейки 5 РУ-6 поверхностной части рудника.

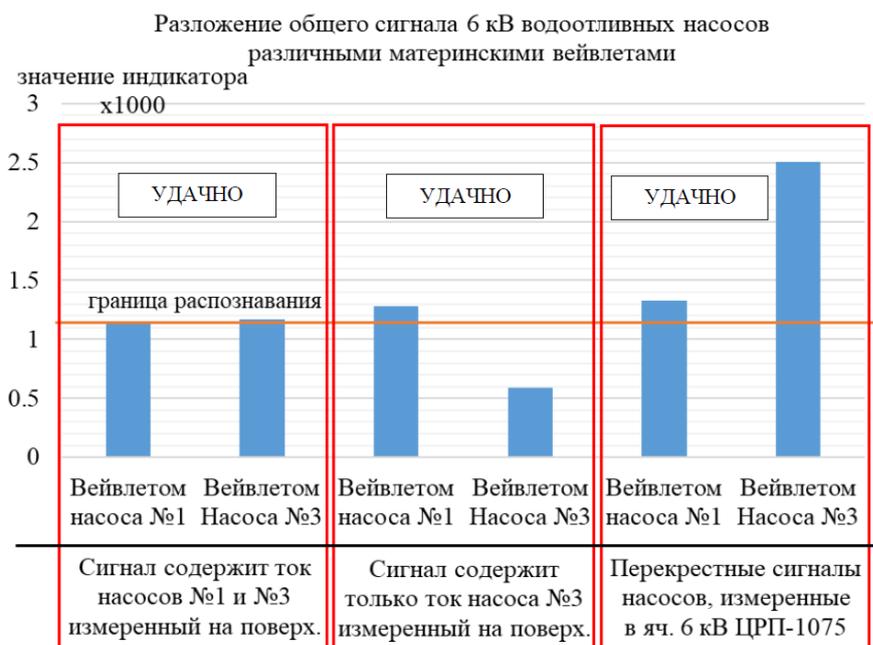


Рисунок 5 – Распознавание однотипных водоотливных насосов

#### Выводы

1. Подтверждена возможность распознавания состояния электроприёмников промышленного предприятия по значениям коэффициентов разложения электрических сигналов вейвлетом, наиболее чувствительным к форме сигнала данного электроприёмника. Материнская вейвлет-функция, оптимальная для распознавания, может быть найдена при проведении анализа сигнала тока, полученного при проведении испытаний машин и установок при выпуске с производства или при вводе в эксплуатацию.

2. Граница распознавания должна быть установлена при проведении измерений формы сигнала на смонтированном электротехническом комплексе.

3. Экспериментально доказана возможность распознавания образов электрических сигналов двух однотипных электроприёмников, обладающих одинаковыми конструктивным исполнением, мощностью и моментом нагрузки. Измерения проведены на клеммах высоковольтных электродвигателей двух водоотливных насосных агрегатов в точках подключения высоковольтных ячеек к секции шин ЦРП в поверхностной части рудника, и в точке подключения питающего кабеля к высоковольтной ячейке фидера РУ-6 кВ в поверхностной части рудника (рисунок 2).

#### Библиографический список

- Hart, G. Residential energy monitoring and computerized surveillance via utility power flows. IEEE Technology and Society, June 1989. pp. 12-16.
- Hart, G. W. Nonintrusive appliance load monitoring. Proceedings of the IEEE, 80(12), 1870–1891, 1992. <http://doi.org/10.1109/5.192069>.
- Norford, L.K., Leeb, S.B. Non-Intrusive Electrical Load Monitoring in Commercial Buildings Based on Steady-State and Transient Load-Detection Algorithms. ELSEVIER, Energy and Building Vol. 24, 1996, PP. 51-64.
- Laughman, C., Lee, K., Cox, R., Shaw, S., Leeb, S., Norford, L., and Armstrong, P. "Power Signature Analysis," IEEE Power and Energy Magazine, V. 1(2), Mar-Apr 2003, Pages 56-63. doi:10.1109/MPAE.2003.1192027. ISSN: 15407977.

5. Zeifman, M., and Roth, K. Non-Intrusive load Monitoring: Review and outlook. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.57, No.1, 2011, PP.76-84.
6. Patel, S. N., Robertson, T., Kientz, J., Reynolds, M., Abowd, G., At the Flick of a Switch: Detecting and Classifying Unique Electrical Events on the Residential Power Line. *Proceedings of Ubiquitous Computing (UbiComp) 2007*, pp. 271-288.
7. Berges, M., Goldman, E., Matthews, H., Soibelman, L., & Anderson, K. User-Centered Nonintrusive Electricity Load Monitoring for Residential Buildings. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(6), 2011, 471–480. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000108.
8. Zoha, A., et al.: Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: a survey. *Sensors (Switzerland)* 12(12), 2012, 16838–16866.
9. Ting K., M. Lucente, G. S. Fung, W. Lee, and S. Hui, “A taxonomy of load signatures for single-phase electric appliances,” in *IEEE PESC (Power Electronics Specialist Conference)*, 2005, pp. 12–18.
10. Leeb, S.B., Shaw, S.R., and Kirtley Jr., J.L. Transient event detection in spectral envelope estimates for nonintrusive load monitoring, *IEEE Trans. Power Delivery* 10 (1995) (3), pp. 1200–1210
11. Chan, W.L.; So, A.T.P.; Lai, L.L. Harmonics load signature recognition by wavelets transforms. In *Proceedings of the International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, London, UK, 4–7 April 2000; pp. 666–671.
12. Zeifman, M., and Roth, K. Non-Intrusive load Monitoring: Review and outlook. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.57, No.1, 2011. pp.76-84.

УДК 621.31

## ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ – КАК ОСНОВА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Коледа, С. А.

руководитель отделения по работе с ключевыми клиентами компании «Кредо-Диалог»,  
Сараева Е.Н.

заместитель генерального директора «Кредо-Диалог»

**Аннотация.** Когда речь заходит о цифровизации дорожно-транспортной отрасли в первую очередь в голову приходит необходимость автоматизации основных процессов жизненного цикла транспортных объектов. каждая большая цифровизация всей отрасли начинается с использования качественных цифровых моделей на самом первом этапе – в изысканиях.

**Ключевые слова:** Цифровизация, жизненный цикл, транспортный объект, модель местности, модель рельефа.

Когда речь заходит о цифровизации дорожно-транспортной отрасли в первую очередь в голову приходит необходимость автоматизации основных процессов жизненного цикла транспортных объектов.

Все эти процессы – проектирование, строительство, эксплуатация и ремонт – должны быть обеспечены качественными изысканиями. И вот на этом этапе важнейшую роль в формировании глобальной цифровой модели всей отрасли начинают играть цифровые (а в последнее время еще и информационные) модели местности. Ведь, как нам хорошо известно, цена ошибки, допущенной на начальном этапе жизненного цикла сооружений неизмеримо больше, чем на последующих.

Какие же требования должны предъявляться к таким моделям, для того чтобы они дополняли остальные процессы отрасли, как полноценная информационная основа?

По нашему мнению, такая модель должна состоять из несколько основных частей и обладать определенными характеристиками.

### **Цифровая модель рельефа**

Первый обязательный компонент - цифровая модель рельефа.

Не так давно необходимость наличия трехмерной модели рельефа, как таковой многими ставилась под сомнение. И вполне серьезно бытовало мнение, что цифровой топоплан без фактической поверхности, с отметками написанными текстом и нарисованными горизонталями является достаточной основой для проектирования. К счастью, сейчас все изменилось, и триангуляционная поверхность с учетом характерных линий рельефа является обязательным атрибутом цифровой модели местности.

Однако развивающиеся технологии несут дополнительные требования, в частности к формированию модели рельефа на различных исходных данных. Давно уже вошли в обиход спутниковые измерения. Все чаще съемка осуществляется дронами с камерами высокого разрешения и лидарами, а работа лазерных сканеров на больших площадках постепенно выходит на уровень стандарта предприятий. И, как следствие, возникает необходимость работать либо с триангуляционными поверхностями, содержащими миллионы точек (что даже при существующем уровне развития компьютерной техники бывает затруднительно), либо подменять понятие работы с поверхностями на работу непосредственно с облаками точек, используя их плотность. Применение мобильного лазерного сканирования является на сегодняшний день самым эффективным и точным методом получения данных при проектировании новых дорог, а особенно при их ремонте и реконструкции. Полученные в результате сканирования дорог облака точек позволяют формировать поверхности дорог с учетом всех дефектов и неровностей с возможностью

последующей оценки и выбора наиболее оптимальных вариантов их восстановления и ремонта. Важным этапом при формировании такого рода поверхностей является прореживание облаков точек и их чистка от различного рода шумов: пыль, грязь, растительность и др. При выполнении лазерного сканирования дорог широкой полосы (откосы и придорожная полоса) наиболее эффективным является комплексное применение лазерного сканирования и тахеометрической съемки.



Но и без облаков точек требования к созданию поверхностей из различных источников постоянно растут. Возможность импорта космоснимков (как из открытых источников, так и высокого разрешения), для ориентирования цифровых моделей используется постоянно, а вот импорт высот SRTM для формирования модели рельефа проводят относительно редко, хотя на этапе экономического обоснования и такой модели бывает достаточно.

Цифровая модель рельефа должна позволять работать с множеством поверхностей, находить их взаимное положение, пересечения, считать объемы. Безусловно, поверхности должны быть информативными, и информация по любой точке поверхности должна быть доступна в любой момент и в любом сечении поверхности.

Поверхности должны быть основой для определения высотного положения других компонентов (коммуникаций, зданий и пр.) и уметь взаимодействовать с ними, что подводит нас к следующей части обязательной для любой полноценной цифровой модели местности - цифровой модели ситуации.

**Цифровая модель ситуации**

Следующий обязательный элемент цифровой модели – модель ситуации.

Опять-таки уровень нарисованных линий и текстов уже давно пройден, в эпоху развития информационных моделей каждый искусственный элемент должен быть

представлен объектом, который имеет не только геометрические параметры (в том числе и высотные) но и массу атрибутов (семантики), которые в свою очередь влияют на отображение элемента в различных проекциях (план, профиль, сечение, 3D-вид). Одним из самых эффективных и постоянно развивающимся методом получения объектов ситуации является лазерное сканирование с высокоскоростным фотографированием или видеосъемкой. Сформированное в результате синхронизированное облако точек с фоторядом позволяет выполнять автоматизированное распознавание элементов организации дорожного движения, ограждений, ЛЭП, бортов и т.д. Атрибуты должны определять, как качественные (круглая труба или квадратная в сечении, листовое растение или хвойное), так и количественные параметры (диаметр, высота) объектов ситуации. Связи атрибутов между собой и определяют вид и поведение элемента в различных ситуациях и в различных проекциях. Хранить такой сложный набор параметров за каждым из однотипных элементов по отдельности означает чрезмерно усложнять модель, и как выход из этой ситуации появляется следующий элемент цифровой модели местности – это классификаторы.

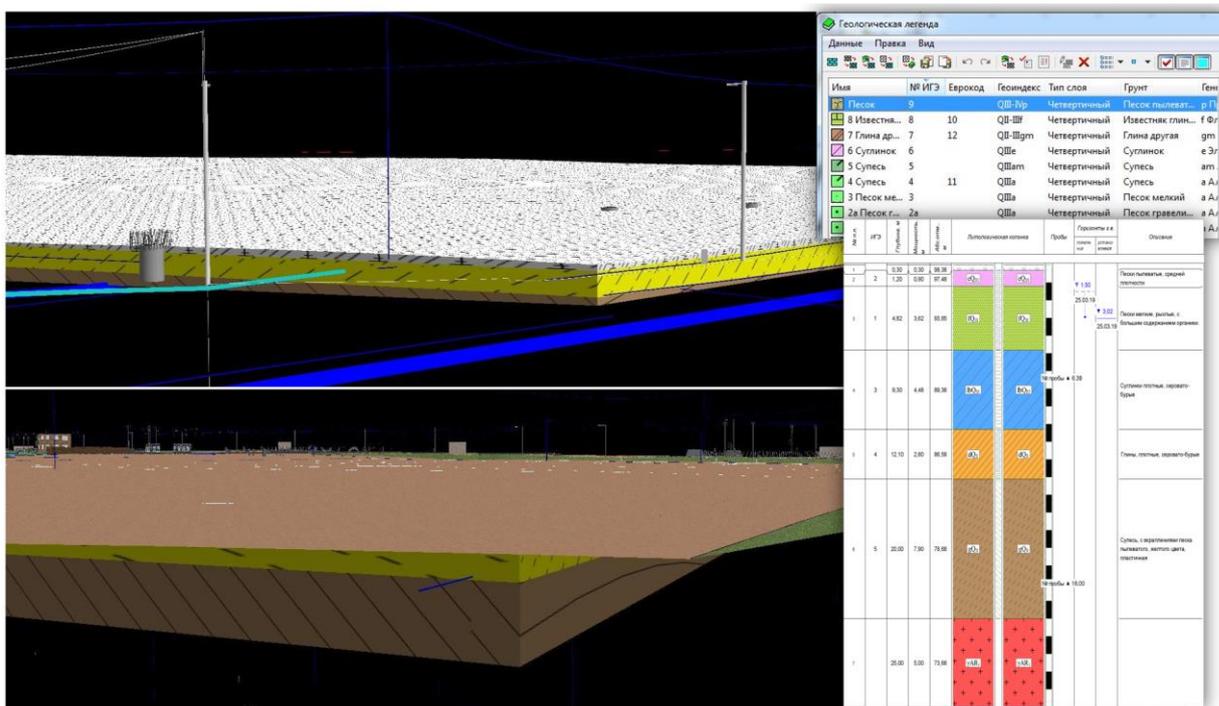
#### **Классификаторы цифровой модели местности.**

Классификаторы в широком смысле этого слова представляют собой библиотеки данных, на которые может ссылаться определенный элемент модели. Однако, если мы говорим об информационных моделях, это накладывает дополнительные требования. В классификаторе должны храниться уже не только описания объекта, его атрибуты, графические характеристики, но и варианты этих данных в зависимости от состояния объекта, взаимосвязи между атрибутами, влияющие на отображение объекта и его характеристики. Еще одна немаловажная задача качественных классификаторов объектов цифровой модели местности – определять, чем станет объект при его экспорте из «родной среды» в тот или иной смежный формат и соответственно наоборот определять правила появления элемента в модели при импорте каких-либо данных. Пожалуй, что именно задача создания, редактирования и хранения корректных и, по возможности, универсальных схем соответствия объектов ситуации является наиболее важной, учитывая, что цифровые технологии на сегодняшний день обязательно состоят из ПО различных производителей.

Особняком стоят классификаторы геологической информации, которые содержат данные, существенно отличающиеся по своему качественному составу. Это в первую очередь классификаторы грунтов и их свойств, обеспечивающие хранение в модели необходимых инженерно-геологических элементов, их нормативных и расчетных свойств, и передачу этих данных по всей технологической цепочке обработки изысканий. И, следовательно, следующий обязательный компонент цифровых моделей местности – геология.

#### **Цифровая модель геологического строения.**

Одна из самых спорных составляющих цифровой модели местности. Казалось бы, все согласны, что никакая информационная модель здания и сооружения не может строиться на пустоте, и нужна геология в объеме, как по площадке, так и по полосе изысканий, однако все равно, в большинстве случаев результатом работы инженера-геолога является текстовый отчет и набор чертежей: колонки и разрезы (или профили, в зависимости от объекта). Хотя наличие объемной модели, связанной с расчетными показателями по данным полевых и лабораторных испытаний, позволяет проектировщику самостоятельно варьировать проектные решения, получать полную информацию о геологическом строении и характеристиках грунтов по любой линии, в любой точке на плане.



В последнее время для получения более точной модели строения существующих конструкций автомобильных дорог применяется георадарное сканирование, по результатам которого можно выполнить как оценку состояния слоев существующих дорожных одежд, так и более точно рассчитать объемы фрезерования и выравнивания покрытия.

Все вышеописанные части цифровых моделей местности должны безусловно находиться в единой информационной инфраструктуре и легко взаимодействовать друг с другом, иными словами, значительную роль играет структура хранения цифровых моделей и доступа различными пользователями к ним.

Структура хранения цифровых моделей.

Поскольку универсального стандарта хранения информационных моделей местности пока нет, что-хотелось бы видеть? И речь идет даже не о формате файлов, а о неких общих принципах системы доступа к цифровым моделям. О сервисе доступа к данным. Такой сервис должен легко трансформироваться от локального до серверного и даже облачного хранения. Такие возможности позволят решить не только задачу многопользовательского режима работы над моделью, но и оперативной передачи готовых моделей между этапами жизненного цикла объекта строительства и эксплуатации.

В конце хотелось бы еще раз обратить внимание – каждая большая цифровизация всей отрасли начинается с использования качественных цифровых моделей на самом первом этапе – в изысканиях.

УДК 621.31

## ТРИ ШАГА К ЦИФРОВОМУ РУДНИКУ ВМЕСТЕ С ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ГГИС МАЙНФРЭЙМ

Ломако Л.С.

руководитель горного направления, компания «Кредо-Диалог»,

Игуменов А.В.

маркшейдер ООО «КД-инжиниринг»

**Аннотация.** Предложено создание цифрового двойника с помощью ГГИС МАЙНФРЭЙМ. Данный подход снижает вероятность искажения данных, обеспечивает их целостность и сохранность, что в итоге обеспечивает более эффективное использование информации, а значит, повышает производительность и безопасность предприятия.

**Ключевые слова:** Цифровой двойник, ГГИС МАЙНФРЭЙМ, единое информационное пространство, открытые, подземные горные работы

Отечественный комплекс МАЙНФРЭЙМ давно известен на российском рынке ПО для горного дела. Его возможности позволяют автоматизировать процесс инженерного обеспечения при производстве открытых и подземных горных работ и создать условия для ведения цифрового двойника рудника. Это достигается за счет входящих в его состав специальных модулей — программ и систем, разработанных на общей графической платформе, и формирования на их основе единого информационного пространства предприятия.

### Состав горно-геологической информационной системы (ГГИС) МАЙНФРЭЙМ:

- МАЙНФРЭЙМ ГЕОЛОГИЯ — решение геологических задач для открытых и подземных горных работ;
- МАЙНФРЭЙМ МАРКШЕЙДЕРИЯ — решение маркшейдерских задач для открытых и подземных горных работ;
- МАЙНФРЭЙМ ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ — решение технологических задач для открытых горных работ;
- МАЙНФРЭЙМ ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ — решение технологических задач для подземных горных работ.

### ШАГ 1. Создание цифровой копии месторождения

Для создания цифровой копии потребуется поработать с историческими данными — планшеты, разрезы, геологические отчеты, проекты на отработку месторождения, электронные файлы и многое другое. Несомненно, работа на этом этапе будет огромная. Рассмотрим ее через ГГИС МАЙНФРЭЙМ подробнее.

На первом шаге создается единая база данных для хранения цифровых копий объектов горной технологии. При этом соблюдается безопасность работы с информацией путем задания прав доступа к базе данных.

Используя программу МАЙНФРЭЙМ ГЕОЛОГИЯ, геологическая служба моделирует геологические тела, подлежащие отработке, выделяет перспективные участки проекта и дает наиболее вероятную оценку запасов руды на основе базы данных опробования. Результатом работы специалиста является трехмерная и блочная цифровая модель рудного тела, которая служит основой для дальнейшего планирования, проектирования и ведения горных работ.

Маркшейдерское направление системы позволяет построить каркасные модели карьеров и выработок на основе съемок и планшетов. Таким образом, к завершению первого шага создается цифровая копия фактического положения горных работ. Горный отдел создает проектные выработки по данным проекта на отработку.

### **ШАГ 2. Автоматизация основных производственных процессов**

После обработки исторических данных встает задача по внедрению автоматизации процессов основных операций подразделений, благодаря которым цифровой двойник предприятия поддерживается в актуальном состоянии. На этом этапе проводят масштабное обучение персонала по работе в ГГИС МАЙНФРЭЙМ.

Геологическая служба получает навыки в следующих операциях:

- моделирование отдельных геологических, выемочных блоков, камер;
- пополнение базы данных эксплуатационными пробами;
- построение блочных моделей;
- расчет качественно-количественных показателей выемочных единиц;
- создание проектов на опережающую разведку;
- расчет объемов к погашению запасов.

Все это производится автоматизированными функциями программы МАЙНФРЭЙМ ГЕОЛОГИЯ.

Маркшейдерская служба предприятия уже давно использует современные приборы, что значительно ускоряет проведение ежемесячных замеров, но при помощи программы МАЙНФРЭЙМ МАРКШЕЙДЕРИЯ маркшейдерская служба повысит скорость, качество и точность обработки замеров.

Специалисты-маркшейдеры получают навыки в следующих операциях:

- пополнение текущего положения по результатам обработки измерений;
- подсчет объемов горной массы, рассчитанной между двумя положениями карьера;
- расчет объемов проходки, камер,;
- расчет закладочных работ для камер;
- построение профиля выработок или автомобильных дорог;
- наблюдение за состоянием горных выработок;
- подготовка горно-графической документации;
- подготовка справки к закрытию месяца.

Все это автоматизируется функциями программы МАЙНФРЭЙМ МАРКШЕЙДЕРИЯ.

Технологическое направление, имея актуальную информацию о горно-геологической обстановке, занимается:

- краткосрочным и среднесрочным планированием открытых и подземных горных работ, проектированием транспортных элементов;
- корректировкой и оптимизацией границ карьера по экономическим показателям;
- проектированием выработок как по шаблонам, так и с заданием параметров для их отслеживания в автоматическом режиме, при котором система может проанализировать горно-геологические условия и предложить оптимальный способ крепления выработок;
- проектированием массовых взрывов блоков и камер.

### **ШАГ 3. Автоматизация уникальных процессов и стыковка с другими системами предприятия**

После автоматизации основных процессов наступает время автоматизации уникальных процессов, присущих вашему предприятию, и стыковки с другими системами

на предприятии. Данный шаг является уникальным, индивидуальным и зависит от целей предприятия. Разработчики ГГИС МАЙНФРЭЙМ на данном этапе оказывают консалтинговые услуги и помогают разработать и реализовать оптимальный план автоматизации.

#### Заключение

Создание цифрового двойника с помощью ГГИС МАЙНФРЭЙМ позволяет увеличить производительность предприятия. Это достигается благодаря работе различных специалистов в едином информационном пространстве за счет исключения потерь времени на подготовку и передачу информации в цифровом виде между подразделениями. При этом снижается вероятность искажения данных, обеспечивается их целостность и сохранность, что в итоге обеспечивает более эффективное использование информации, а значит, повышает производительность и безопасность предприятия.

УДК 004.942

## СИСТЕМА АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАК ОСНОВА ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Лядский В.Л. <sup>1</sup> Голец К.П. <sup>2</sup>, Никулин А.В. <sup>2</sup><sup>1</sup>ФБГОУ ВО «Уральский государственный горный университет» г.Екатеринбург,  
<sup>2</sup>АО «СМАРТС», г.Самара

**Аннотация.** Система мониторинга на базе распределенного акустического сенсора «Акустический мониторинг» (АИС АМ) использует принцип когерентной рефлектометрии на основе рэлеевского рассеяния. В качестве распределенного датчика используются незадействованные оптические волокна в проложенных оптоволоконных кабелях связи. Система фиксирует акустические воздействия на кабель, приходящие из среды прокладки (например, если кабель проложен в земле). Далее нейронные сети из первичного сигнала распознают те или иные события. Таким образом, при прокладке оптоволоконного кабеля в обочине автомобильной дороги становится возможным детектирование таких событий, как проезд автомобиля, остановка автомобиля, движение пешехода и др.

**Ключевые слова:** мониторинг, акустический сенсор, автоматизированная информационная система, микрокабель, статистическая обработка событий

Для организации стабильной работы транспортно-логистических коридоров, сбора аналитических данных, моделирования положения на дороге в режиме реального времени и, конечно, оповещений о нештатных ситуациях необходима система, которая способна осуществлять мониторинг автодороги на всей ее протяженности вне зависимости от погодных условий. С ростом трафика будет увеличиваться и число инцидентов на автодорогах, приводящих к коллапсам и негативно влияющих на социально-экономическую обстановку. В связи с этим необходимо оперативно выявлять и устранять причины возможных происшествий.

При авариях и нештатных ситуациях на автодорогах необходимо как можно быстрее передавать информацию о месторасположении транспортных средств в диспетчерский или ситуационный центр для последующего анализа и принятия необходимых мер — организации выезда на место происшествия служб экстренного реагирования: МЧС, ГИБДД, скорой помощи, пожарной службы.

Для решения этих задач предназначена автоматизированная информационная система «Акустический мониторинг» (АИС АМ). АИС АМ позволяет собирать данные в реальном режиме времени и предоставлять аналитику транспортного автомобильного потока. Такая система требуется для своевременного реагирования, принятия решений, моделирования ситуаций на автомобильной дороге.

Целью функционирования Системы является использование эффективного инструмента для анализа дорожной обстановки в реальном режиме времени, вне зависимости от погодных условий и принятия необходимых мер при выявлении инцидентов и реагирования на них.

Объектом автоматизации является автомобильная дорога с участниками дорожного движения. События, определяемые системой, должны быть структурированы таким образом, чтобы была обеспечена оценка транспортного потока и нештатных ситуаций в реальном, близком к реальным режимам времени и режиме анализа данных за определенный период времени.

К процессам автоматизации на участке автомобильной дороги относится также процесс информирования организаций, отвечающих за содержание и ремонт

автомобильной дороги, за безопасность дорожного движения, участников дорожного движения о текущем состоянии транспортного потока и событиях на дороге.

На участке автомобильной дороги необходимо проложить виброакустический сенсор в виде микрокабеля в линейно-кабельном сооружении транспортной многоканальной коммуникации (ЛКС ТМК), а также в виде отдельного волоконно-оптического кабеля в теле автомобильной дороги (кабель-датчик). Способ прокладки и тип кабеля определить при проектировании.

Пример прокладки оптического микрокабеля в ЛКС ТМК приведен на рис. 1.



Рис. 1. Пример прокладки оптического микрокабеля в ЛКС ТМК в обочине автодороги.

Основная задача при проектировании проложить кабель-датчик максимально прямолинейно вдоль оси автомобильной дороги, избегая, на сколько это возможно, границ разделов сред между верхними слоями дорожной одежды и кабель-датчиком, включая использование различных футляров.

В качестве распределенного акустического сенсора - Distributed Acoustic Sensor (DAS) - используется стандартное телекоммуникационное одномодовое волокно (ОВ) G.652 в волоконно-оптическом кабеле (ВОК). Таким образом, для целей виброакустического мониторинга используются стандартные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

В основе работы лежит принцип когерентной рефлектометрии и используется рэлеевское рассеяние. В волокно периодически вводятся оптические импульсы, при распространении которых по оптоволокну часть света отражается обратно. Отражённые сигналы складываются когерентно: разность их фаз друг относительно друга постоянна во времени. При микродеформациях волокна, вызванных виброакустическими воздействиями, параметры отраженного сигнала изменяются.

Пример визуализации обработанного виброакустического сигнала участка автодороги с движущимися автомобилями приведен на рис. 2.

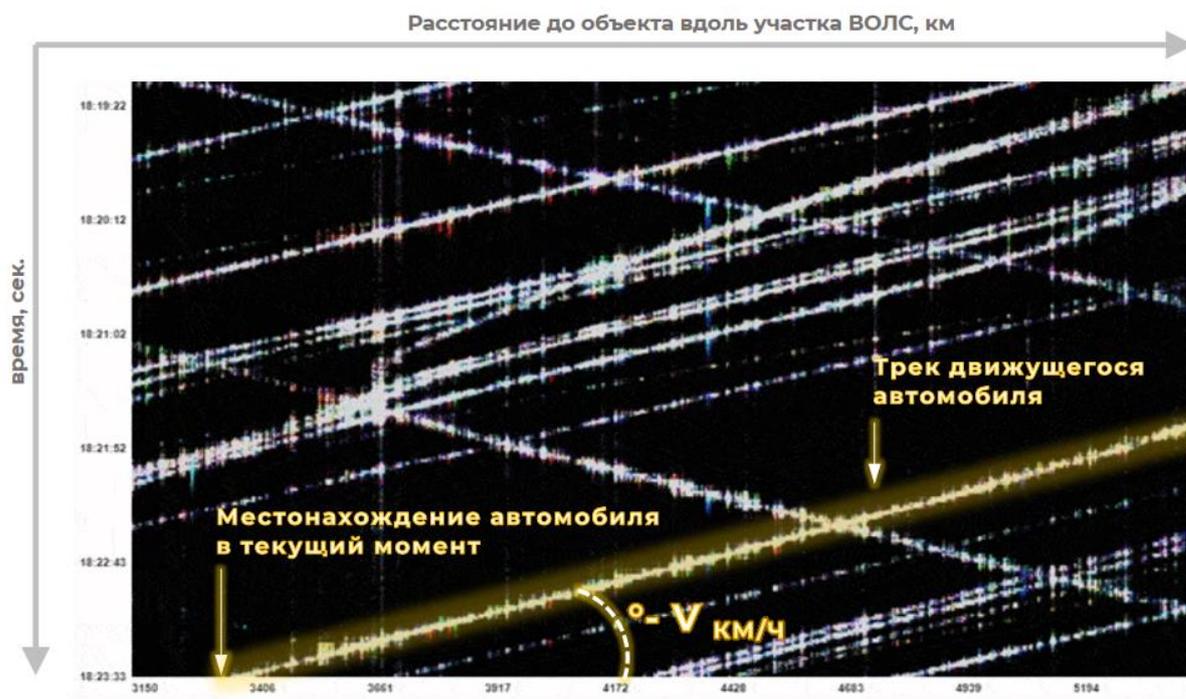


Рис. 2. Визуализация виброакустического сигнала.

Поток исходной информации, детектируемой системой акустического мониторинга, является типичным примером Big Data. Например, с участка дороги порядка 100 км получается в час порядка 200-300 Гб информации о виброакустическом сигнале.

Далее полученные данные анализируются нейронными сетями, алгоритмами вторичной обработки и на выходе получают готовые события. Система, например, в настоящее время детектирует следующие события, происходящие на автомобильной дороге:

- 1) Движение автомобиля (включая скорость и направление движения).
- 2) Остановка автомобиля на обочине.
- 3) Движение пешехода по обочине.
- 4) Работу строительной техники на (или вблизи) автодороги (например, работа экскаватора).
- 5) Движение/работа дорожной техники (например, уборка снега).

Верхнеуровневая платформа акустического мониторинга - система АИС АМ - является многокомпонентной системой сбора, обработки и хранения внешних событий Акустического мониторинга и событий фотовидеофиксации (ФВФ), организации хранения данных ТСОДД, вспомогательной инфраструктуры, требуемой для обогащения событий, сбора и представления статистических данных.

Система позволяет проводить аналитическую обработку распознанных событий, отображать их на различных видах карт, строить графики, отчеты и т.д.

Возможно создание «вторичных событий», например, таких как «превышение скорости» или «остановка в неполюженном месте». Есть функционал рассылки оповещений по каналам Telegram, E-mail.

Пример отображения событий приведен на рис. 3.

# Автоматизированная информационная система акустического мониторинга (АИС АМ)



Веб интерфейс, картографическая основа

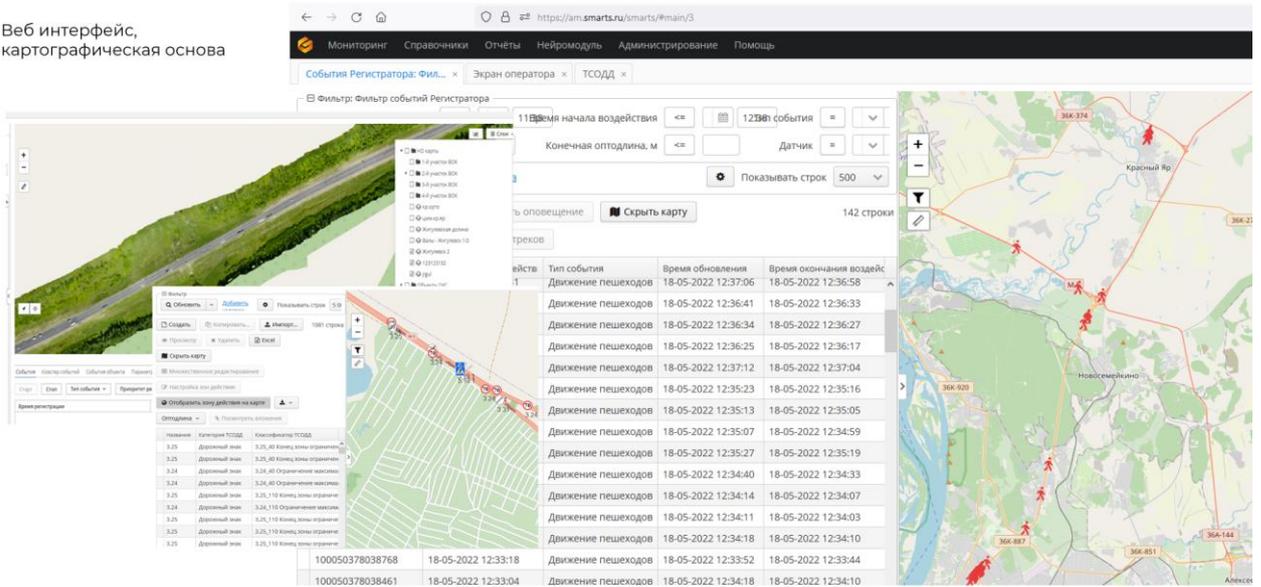


Рис. 3. Отображение событий на карте.

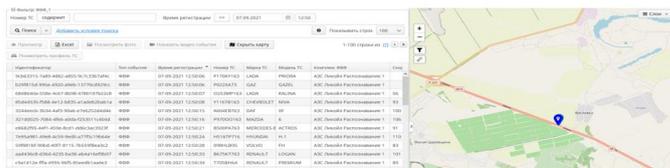
Статистическая обработка событий позволяет получить общую картину динамики транспортного потока - средние, минимальные, максимальные скорости потока, участки с повышенной скоростью движения, участки с пробками и т.д.

Пример отображения статистической информации приведен на рис. 4, 5.

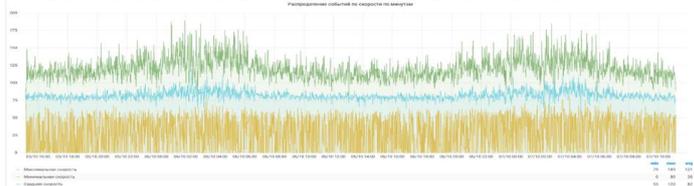
## Акустический мониторинг для повышения безопасности дорожного движения



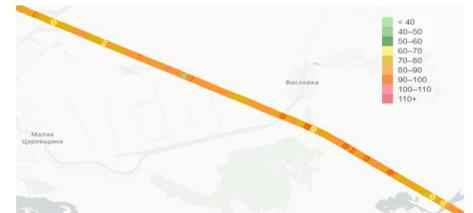
Привязка треков и характеристик движения автомобилей к расположенному ГРЗ ближайшей камеры ФВФ



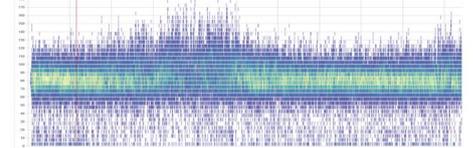
Максимальная, средняя и минимальная скорость в потоке



Детектирование скорости потока и заторов



Анализ интенсивности движения



Детектирование и информирование о событиях с привязкой к местности в режиме реального времени о ДТП, местах частых нарушений скоростного режима, езде по обочине и д.т.

Рис. 4. Отображение статистической информации.

# Акустический мониторинг для повышения безопасности дорожного движения

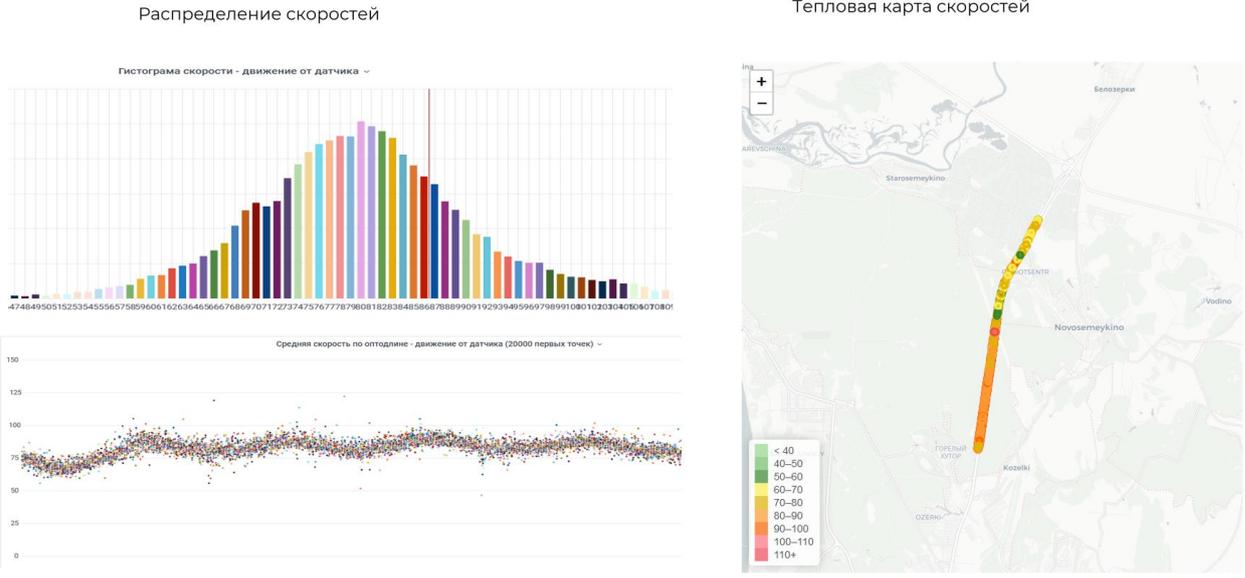


Рис. 5. Отображение статистической информации.

Возможно построение «тепловых карт» автодороги - двухмерная карта скоростей, где по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат - оптическая длина сенсора (или километры автодороги), цветом - скорость транспортного потока. Такая тип отображения позволяет сразу наглядно увидеть место и время на автодороге, где происходит изменение скорости транспортного потока (например, образование пробки).

Пример отображения «тепловой карты» участка автодороги приведен на рис. 6.

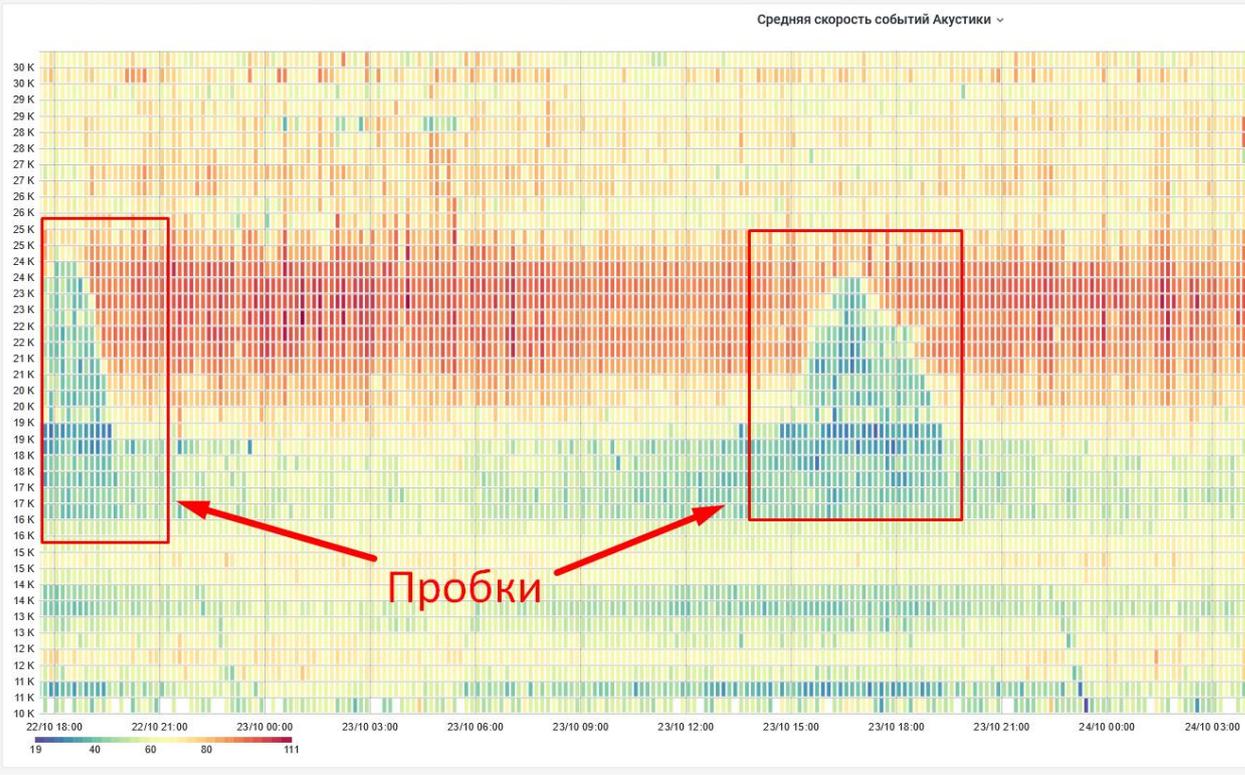


Рис. 6. Пример отображения «тепловой карты» участка автодороги.

Анализ акустических треков автомобилей позволяет отслеживать отдельные автомобили на расстояние до нескольких десятков километров, а сопоставление треков с данными комплексов фотовидеофиксации (ФВФ) обеспечивает идентификацию автомобилей (фото, номерной знак).

Анализ виброакустического сигнала может дать различную дополнительную информацию о произошедших событиях, например, обстоятельства ДТП, а также поиск/идентификация виновников и свидетелей ДТП в случае, когда виновник скрывается с места происшествия.

Пример поиска виновника ДТП показан на рис 7.



### Анализ обстоятельств ДТП

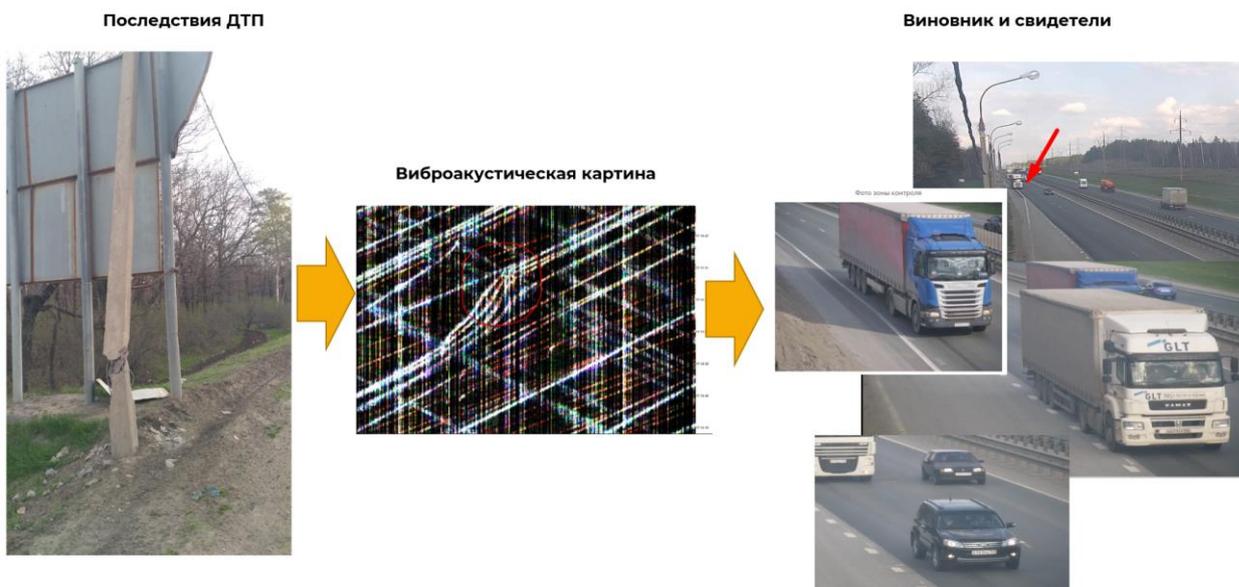


Рис 7. Поиск виновника ДТП.

Таким образом, система виброакустического мониторинга АИС АМ это уникальное решение, которое позволяет контролировать протяженные объекты без подключения к энергетической инфраструктуре. Одно волокно в волоконно-оптическом кабеле заменяет собой тысячи датчиков.

Области применения системы:

Мониторинг Рудников с открытым и шахтным способами разработки, включая систему позиционирования работающей техники;

Мониторинг нахождения персонала в зоне/вне зоны производства работ

Мониторинг объектов транспортной инфраструктуры:

- Железнодорожные пути.
- Взлетно-посадочные полосы.
- Мосты, тоннели, автомагистрали.
- Охрана линий связи.

Мониторинг и диагностика трубопроводов:

- Отслеживание регламентных работ.
- Мониторинг охранной зоны.

Периметральная охрана.

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА РУДНИКАХ ЗФ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»

Батралиев Р.Ш.<sup>1</sup>, Харин А.Д.<sup>1</sup>, Нуриев Д.Р.<sup>1</sup>, Туртыгина Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», г. Норильск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «ЗГУ им. Н.М. Федоровского», г. Норильск, Россия

**Аннотация.** Ухудшение минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий является необратимой тенденцией, что приводит к снижению качества добытых руд. Решить эти проблемы на предприятии удастся с помощью цифровой трансформации предприятия, все технологи рудника, участвующие в добыче полезного ископаемого, находятся в контакте со специалистами центра планирования, который в настоящее время стал центром консолидации, предотвращающий конфликт между добывающим и перерабатывающим производством и планированием.

**Ключевые слова:** Планирование горных работ, горно-геологическая информационная система, Планшетное решение, схемы информационных потоков

Колебания качества руды создают значительные трудности в переработке руды, ухудшая как технологические показатели обогащения, так и экологическую обстановку в целом, и тем самым, снижая экономическую эффективность всего горно-металлургического комплекса.

В этой связи стратегическим способом решения проблемы на предприятиях компании является оптимизация и модернизации технологической цепочки горно-металлургического комплекса от груди забоя до поверхностного склада.

В современных условиях существующая система получения информации о качественных характеристиках руды на горных предприятиях должна функционировать в направлении существенного повышения её оперативности с использованием достижений технического прогресса. Введение прогрессивных процессов планирования и контроля исполнения горных работ – это важное звено для достижения стратегических целей Компании по оптимизации и модернизации производств.

Планирование горных работ является началом всех процессов по формированию требуемого качества руды при его непосредственной добыче. На территории заполярного филиала компании «Норильский никель» в рамках реализации масштабной программы цифровой трансформации «Технологический прорыв» созданы функциональные центры планирования на каждом руднике, задача которых, с помощью действующих информационных систем планировать, контролировать и оперативно корректировать горные работы в различных разрезах времени. Центры организованы для эффективного планирования горных работ и контроля их исполнения, начиная с долгосрочных трехлетних планов и заканчивая почасовым распределением работ на каждом отдельном подземном участке с целью стабилизации качественных и количественных показателей в рудной цепочке. Также стоит отметить что центры планирования являются своего рода сердцем предприятия, туда стекается вся основная и оперативная информация от груди забоя до рудничной поверхности.

Для выполнения задач, обеспечивающих повышение эффективности добычи полезных ископаемых и стабилизации качественных показателей в рудной массе, направляемой на обогащение, потребовался ряд горно-геологических информационных систем (ГГИС), инструментов планирования и контроля горных работ, таких как Micromine, GEOVIA MineSched, «Система ДСГ» и Автоматизированная система управления горными работами, вендерами которой выступали АО «ВИСТ Групп» и Micromine Pitram..

Micromine – это горно-геологическая информационная система, предназначенная для сбора и обработки различных данных. В Micromine стекается информация от

геологических и маркшейдерских служб и данных с технического отдела, которые служат для каркасного моделирования, т.е. для планирования будущих выемочных единиц, локальных и глобальных проектов. ГГИС позволяет визуально оценить рудное тело и представить варианты развития горных работ.

MineSched программный инструмент для планирования горных работ, охватывающий такие сроки планирования как: три года, год, квартал, месяц и декада.

С целью планирования горных работ на более узкий разрез времени, например – декада – сутки – смена, был разработан инструмент оперативного планирования «Система ДСГ» т.е., декадно - сменный график. Данные, полученные из Mineched по расчету декады импортируются в «Систему ДСГ». Система предназначена для автоматизации бизнес-процессов средне- и краткосрочного планирования основных производственных операций подземных рудников – подсечка и откатка. Ежедневное распределение техники по горным выработкам с определением планового наряд-задания по каждой единице техники, а также осуществление проверки выполнимости поставленных на месяц и декаду целей с точки зрения ресурсных ограничений по технике, имеющейся на рудниках.

Для качественного планирования в систему ежедневно требуется вносить большой объем фактических данных. Для оперативной передачи данных из подземной части на поверхность существует «Планшетное решение», которое позволяет мастерам горного участка вносить факты работ, оценивать остатки работ, блокировать выработки, вносить информацию по их безопасности и готовности к работам. После отправки данной информации на поверхность она поступает обратно в «Систему ДСГ», где используется для расчета новой смены, либо корректировки текущей.

Контроль и безопасность исполнения планов центра осуществляется с помощью «Автоматизированной системы управления горными работами» или АСУ ГР.

Создание системы преследует следующие цели:

- информационного обеспечения процессов оперативного управления производством для идентификации ограничений производственной цепочки и принятия упреждающих воздействий;
- контроля и управления объемами и качеством добываемой руды;
- контроля и управления эксплуатацией горнотранспортного оборудования.

Говоря точнее, система позволяет в автоматическом режиме определять место загрузки/разгрузки, подсчитывать вес перевезенной горной массы, определять простои и техническое состояние техники. Таким образом, в реальном времени можно увидеть рудопоток, фактическую отгрузку, вес ковша, а значит контролировать сменные/суточные качественные и количественные показатели.

АСУ ГР накапливает данные не только по всем видам техники, но и по операторам, которые на ней производят работы. Это позволяет оценить эффективность использования оборудования по каждой единице техники и эффективность её эксплуатации.

Эксплуатация всех этих систем невозможна без мощного фундамента. В подземных частях рудников выстроена мощная инфраструктура передачи данных. Инфраструктура диспетчеризации горных работ, или ИДГР, представляет собой набор инструментов и технических решений, обеспечивающих формирование и передачу исходных данных о текущем местонахождении СДО в подземных выработках в систему АСУГР. На поверхности АРМ ключевых пользователей систем, ЦОД и базы данных исполнены по последнему слову техники. Проект ИДГР выполняет следующие задачи:

- технологическое позиционирование подземного транспорта (ПДМ, ШАС) с точностью до 5 м в местах производства работ по отгрузке горной массы;
- организация покрытия средой передачи данных горных выработок, в которых осуществляются процессы отгрузки горной массы, очистного и проходческого бурения;
- реализация радиосвязи в зонах расширения инфраструктуры.

В целом работа по планированию горных работ начинается с построения общей геологической блочной модели по залежи или панели и выполняется участковыми геологами рудника в системе Micromine.

После планировщиками центра строятся каркасы (трехмерные модели планируемых выработок) готовых к выемке запасов. После построения трехмерных моделей выработок их вносят в общую геологическую блочную модель и получают отчет содержания цветных металлов по каждой из них. На основе данных этих отчетов специалисты центра планирования совместно со смежными структурами начинают составлять план горных работ на год, квартал, месяц и смену, сводя его к сменному наряд-заданию.

Внедрение систем цифровизации на рудниках не может не отразиться на схемах информационных потоков. Существующая ранее схема предусматривала множество блоков, взаимодействующих между собой и зачастую недостаточно эффективно. В новой целевой системе предусмотрено три основных блока. Также стоит отметить что внедрение ГГИС Micromine и GEOVIA MineSched позволяет снизить количество разубоживания до 1-2%, внедрение «ДСГ» увеличивает коэффициент соблюдения направлений на 25-30%, что также позитивно сказывается на уровне разубоживания и уменьшаем амплитуду колебаний качества рудного сырья, подаваемого на обогатительную фабрику. АСУ ГР в свою очередь нацелен на увеличение коэффициента использования оборудования на 5-10%, усреднение содержания рудной массы и создания различной аналитики на основании телеметрических данных.

В 2020 году Компания приступила к реализации программы «Техпрорыв 2.0», которая включает 10 программ. По каждой программе уже сформулированы бизнес-вехи и дорожная карта из 42 ИТ-инициатив и ИТ-проектов для реализации этих бизнес-задач.

Таким образом, все технологи рудника, участвующие в добыче полезного ископаемого, находятся в контакте со специалистами центра планирования, который в настоящее время стал центром консолидации, предотвращающий конфликт между добывающим и перерабатывающим производством и планированием. Цифровая трансформация, осуществленная на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» позволяет нам значительно уменьшить колебания качества руды, и тем самым, повысить экономические показатели компании.

#### **Библиографический список:**

1. Ломоносов Г. Г. Улучшение качества продукции горнодобывающего производства как фактор повышения эффективности российского горноперерабатывающего комплекса // Рациональное освоение недр. - 2015. - № 2. - С. 51 - 61;
2. Маргиев А. А., Охрименко А. В., Звонар Д. М., Батралиев Р. Ш. Обзор систем и инструментов цифровизации производства на примере центра планирования рудника «Комсомольский» // Горный журнал - 2021.- №2. - С. 8 -11;
3. Регламент планирования горных работ в ГГИМ MineSched Рудник «Комсомольский» г. Норильск 2017;
4. Проценко А.В., Байров Ж.Б., Зартенова Л.Г., Проценко Н.В. Алгоритм оперативного планирования на рудниках с использованием ПО MICROMINE // Экономика и управление в XXI веке : тенденции развития сборник материалов XXXVII Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 143 - 149;
5. Положение о Департаменте автоматизации и цифровизации производства СП-132-2021 ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» г. Норильск 2021, 17 С.;

УДК 622.1

## ИНДУСТРИЯ 4.0 И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Великанов В.С.

доктор техн. наук, профессор кафедры «Автоматики и компьютерных технологий»,  
ФГБОУ ВО «УГГУ» 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

**Аннотация.** Во многих развитых странах мира в настоящее время реализуется новая технологическая революция, называемая термином «Индустрия-4.0». Программа «Индустрии-4.0» охватывает все отрасли промышленного производства, в том числе и горнодобывающую промышленность. Цифровое моделирование, а именно создание цифровых двойников один из перспективных трендов, определяющих инновационное развитие отрасли.

**Ключевые слова:** цифровизация, индустрия, горнодобывающая промышленность, цифровой двойник

В общем понимании термин «Индустрия 4.0» применяется для характеристики новых, передовых и потенциально прорывных технологий, включая полную цифровизацию и искусственный интеллект. «Индустрия 4.0» подразумевает широкое внедрение информационных технологий в производстве, а также создание нового поколения оборудования, объединенных в одну цифровую экосистему (рис.1).

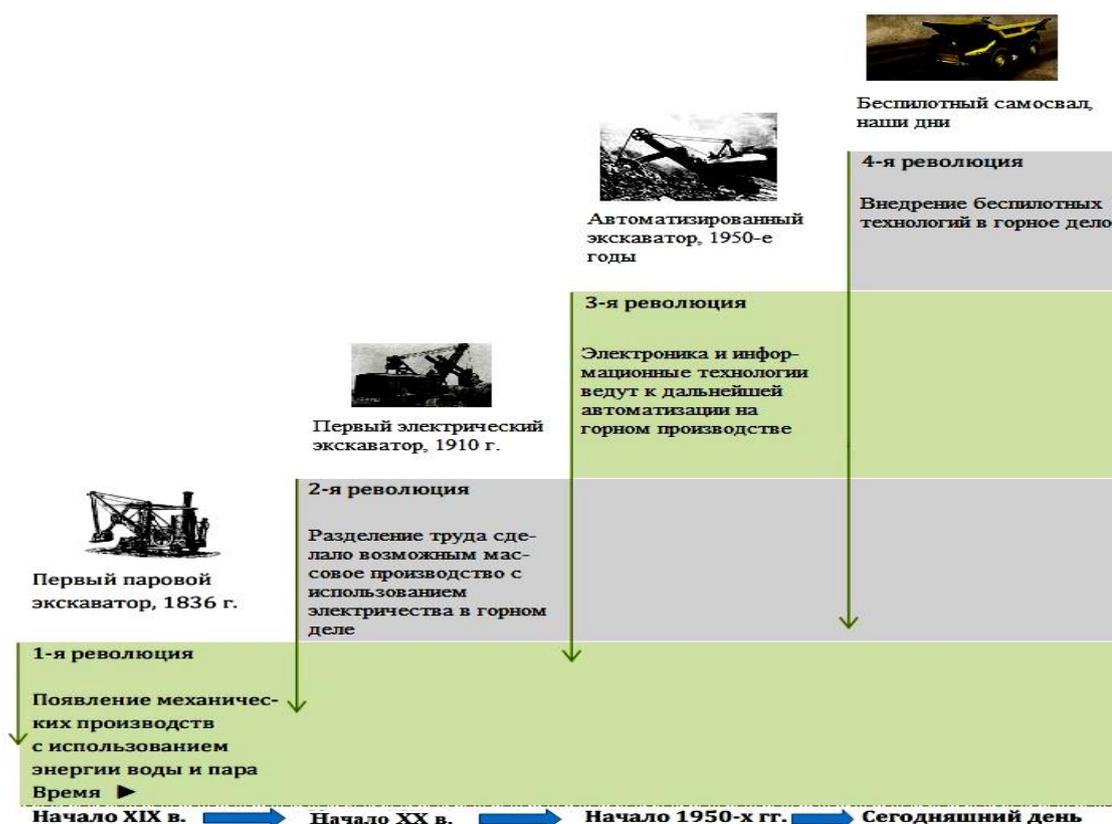


Рис. 1. Четыре промышленные революции в горном деле (реализовано на основе материалов Немецкого исследовательского центра искусственного интеллекта, в переводе)

Базовыми компонентами управления являются модернизация и цифровая трансформация производственных операций для обеспечения эффективной эксплуатации горного оборудования [1-3].

В РФ 2018 г. утверждена перспективная программа «Цифровая экономика РФ», цель программы - общесистемное развитие и внедрение цифровых технологий во все области жизни.

Цифровизация в горном деле направлена прежде всего на повышение производительности, в утвержденной долгосрочной программе развития угольной отрасли РФ до 2030 г. ставится задача пятикратного роста производительности труда и повышения не менее чем в 2-3 раза основных показателей уровня промышленной и экологической безопасности.

В зарубежных аналитических отчетах отмечается, что реализация перспективных прогнозов «Индустрии 4.0» позволит:

- 28% горнодобывающих компаний во всем мире планируют увеличения своих бюджетов на ИТ, несмотря на текущие проблемы в отрасли;
- цифровые технологии играют определяющую роль в инвестициях: 70% компаний рассматривают инвестиции в автоматизацию шахт, 69% планируют инвестировать в централизованное управление и контроль, и более четверти компаний изучают роль, которую может сыграть робототехника;
- горнодобывающие компании будут и далее развивать прозрачность, способность к быстрому реагированию и контроль с помощью анализа данных. По прогнозам, в ближайшие несколько лет число горнодобывающих компаний, использующих в работе углубленную аналитику, увеличится на 30% [1-10].

Цифровизация может включать в себя разработку так называемого цифрового двойника или цифровой копии, которая создается и развивается одновременно с реальной машиной (рис.2). Кроме того, внедрение программ оцифровки, таких как облачные сервисы, удаленная диагностика машин, анализ данных, может привести к формированию новых бизнес-моделей и возможностей в существующих компаниях, а также к созданию совершенно новых компаний и концепций. По оценкам экспертов, в РФ, если в долгосрочной перспективе можно ожидать переход на высокий уровень автоматизации горных разработок с использованием беспилотных технологических машин, то в среднесрочной перспективе альтернативы человеку за рулем карьерного самосвала или горного экскаватора не предвидится.

Высокая эффективность использования современных технологических машин достигается не только их правильной эксплуатацией, минимизацией затрат на техническое обслуживание и ремонт, но и улучшением их эргономических показателей. Большинство вносимых изменений в существующие, не говоря уже о разработке новых технологических машин, рассчитываются и проходят всестороннюю оценку показателей эффективности задолго до реального образца. Однако, интерпретация расчетов представляет определенную сложность, не всегда даже визуализация в виде диаграмм является убедительным аргументом в пользу принятия или отклонения того или иного технического решения.

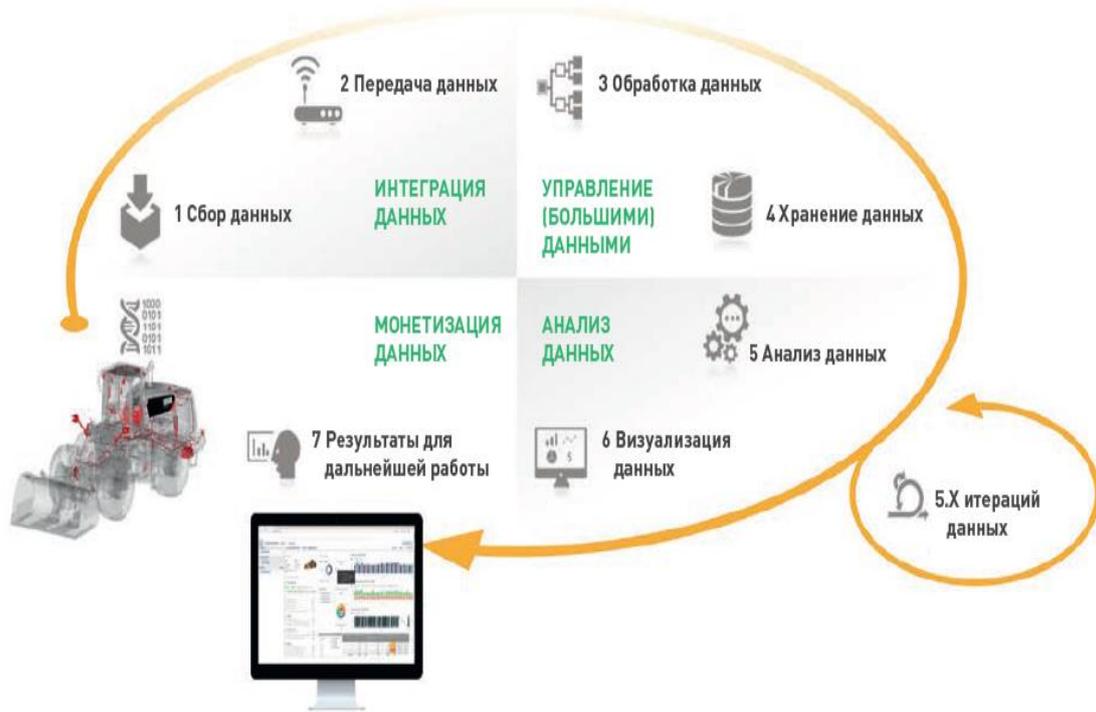


Рис.2. Создание цифрового двойника. Источник: Indurad, 2019

Здесь на помощь приходят современные методы модели-ориентированной системной инженерии (Model Based System Engineering, MBSE) – создание виртуальных прототипов и далее, цифровых двойников, позволяющих выполнить многоаспектный анализ эргономики транспортного средства любой сложности в любых моделируемых условиях в динамике. Одной из ключевых особенностей таких моделей является визуальное отображение моделируемых изменений. Именно наглядность прототипа часто заставляет стейкхолдеров системы по-иному взглянуть на желаемые изменения (рис. 3) [11].



Рис. 3. Пример реалистичного прототипа модели карьерного самосвала

Таким образом, реализация основных подходов Индустрии 4.0 представляет собой сложную научно-техническую задачу, решение которой связано со значительными капитальными затратами, в том числе на роботизированную технику, инфраструктуру, бортовые информационно-диагностические системы, а также изменение технологии и регламентов открытой добычи полезных ископаемых.

#### Список литературы

1. Петерс Х. «Индустрия 4.0» как основа современных прикладных исследований в черной металлургии // Черные металлы. № 7. 2017. С. 56-63.
2. <https://www.plattform40>.
3. The challenges of Industry 4.0 and the need for new answers in the mining industry / V.S. Velikanov, N.V. Dyorina, A.N. Korotkova, K.S. Dyorina // Известия Уральского государственного горного университета. 2021. No 2(62). P. 154-166.
4. Ратцек У. Объединение «умных» технологических агрегатов в сеть // Черные металлы. июнь. 2015. С. 65-68.
5. Трачук А.В., Линдер Н.В. Инновации и производительность российских промышленных компаний // Инновации. 2017. №4 (222). С. 53-65.
6. Кучумова Т. Едем в роботизированное будущее // Добывающая промышленность. – 2020. – №6. – С.18-24.
7. Розенберг Е. Н. Цифровая железная дорога - ближайшее будущее // Автоматика, связь, информатика. 2016. № 10. С. 4-7.
8. Розенберг И.Н. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. 2(8). С. 275-282.
9. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №2. С. 182-185.
10. Цветков В.Я. Ресурсность и интегративность сложной организационно-технической системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5 (часть 4). С. 676.
11. Великанов В.С. Ильина Е.А., Кочержинская Ю.В. Визуализация и анализ информации об эргономике рабочего места на основе компьютерного прототипирования конструкции кабины карьерного экскаватора // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 1(106). С. 18-30.

УДК 004.45

## **МЕНЬШЕ ЗНАЕШЬ - КРЕПЧЕ СПИШЬ. КАКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНОВЯТСЯ ОЧЕВИДНЫМИ ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ МОНИТОРИНГА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ?**

Богинский В.К.

ООО «Экстенсив-Автоматизация»

**Аннотация.** Цифровизация производства одна из самых обсуждаемых и модных тем на конференциях и в объединениях промышленников и предпринимателей. Программные решения для предприятий в этой области обсуждаются на крупных выставках вроде ИННОПРОМ, Металлообработка в том числе и на международном уровне. Почему такой горячий интерес именно сейчас? Что хотят увидеть руководители промышленности и какие задачи преследуют люди непосредственно из производства? Проблемы, которые раньше никого не волновали, в условиях развития технологий, усложнения оборудования становятся лакмусовой бумажкой системных рисков, глубоко укоренившихся на предприятиях. Какие именно сигналы об этом говорит может продемонстрировать автоматическая система сбора машинных данных. В этой статье продемонстрированы наиболее острые вопросы промышленных предприятий и как мониторинг позволяет получить данные для их разрешения.

**Ключевые слова:** мониторинг, ЧПУ, цифровизация, диджитализация, бережливое производство, механообработка, машиностроение, системные риски промышленности, MDC.

Качество продукции на любом предприятии – это всегда комбинация из технологий, машин и людей, которые воплощают на производстве идеи инженеров. Если еще несколько лет назад область промышленности зависела на 90% от того, как люди управляют процессом производства, то теперь в тренде тема цифровизации, которая значительно снижает этот показатель.

Всегда ли это хорошо? Как складываются отношения между разными подразделениями после внедрения программных решений? Какие проблемы становятся видимыми и кто за это отвечает?

Эта статья о том, как влияет внедрение мониторинга оборудования на промышленные предприятия. Она пригодится для специалистов по качеству, технологам и руководителям предприятий из области машиностроения, механообработки, легкой промышленности и другим, на производстве которых используются станки с ЧПУ.

Несколько слов о том, что такое мониторинг оборудования

Любой станок в процессе работы обрабатывает тысячи показателей, на его поведение и результаты влияют сотни параметров. Более того, даже абсолютно одинаковые станки от одного и того же производителя могут работать совершенно по-разному в зависимости от того, на каком предприятии они используются и кто их настраивал.

Тем не менее машинные данные, получаемые в процессе производства непосредственно с оборудования, самым достоверным образом отображают процесс изготовления продукции, его технологические и количественные параметры. Однако станки стали настолько сложными изделиями, что никакой человек, даже самый профессионально обученный не может однозначно установить причину сбоя без дополнительных изысканий.

Здесь на помощь и приходит Мониторинг - процесс сбора, обработки, хранения, передачи, анализа и визуализации данных с технологического оборудования, а также формирование информации и сигналов на их основе.

Когда такой процесс автоматизирован, то появляется возможность передать непростую задачу “технологии” и увеличить эффективность производства. Благодаря такому внедрению предприятие совершает переход от управления по результатам к управлению производством в реальном времени. Когда все технологические и производственные данные собраны в единый контур, становится возможным получение достоверной информации для улучшения планирования производства, конструирования изделий и технологической подготовки, увеличения ресурса оборудования.

При внедрении системы сбора машинных данных предприятие обычно преследует достаточно конкретные цели, предполагая или ощущая, что какие-то процессы дают сбой, что-то работает неправильно. Это отправная точка, данные на входе. Ниже перечислены проблемы, с которыми к нам обычно обращаются заказчики мониторинга, то есть те вопросы, которые на взгляд специалистов предприятия следует решить:

- Срывы заказов. Есть план в соответствии, с которым завод должен выпускать продукцию, по тем или иным причинам сроки постоянно срываются

- Возрос процент брака, недоработок, переделок. Необходимо поддерживать стабильность технологии

- Технологический процесс не оптимизирован. Требуют контроля и отслеживания скорость, точность, трудоемкость, ресурсоемкость

- Увеличились случаи аварий, остановок станков, оборудование простаивает. Необходима дополнительная информация, чтобы поддерживать оборудование в работоспособном состоянии, предотвращать отклонения, уменьшить последствия происшествий

- Большие затраты ресурсов, рабочего и машинного времени, материалоемкость, износ инструмента, незавершенное производство, брак, расходные материалы и т. д.

- Оборудование усложняется и нужно снизить нагрузку на персонал и требования к его квалификации

Однако, проблема, озвученная заказчиком зачастую является лишь верхушкой айсберга. Внедрение мониторинга всего лишь за несколько десятков дней использования достает наружу намного более глубокие проблемы и формирует настоящий вызов для предприятия. Возможно именно поэтому эта тема сейчас в тренде и промышленники все активнее применяют различные системы класса MDC (Machine Data Collection).

Какие проблемы бывают?

Если связывать, описываемые ниже проблемы на промышленных предприятиях, одной темой, то основной будет - потеря машинного времени. Напрямую или опосредованно любой простой оборудования демонстрирует несогласованность действий, слабую организацию или характеризует уровень производственных возможностей каждого конкретного предприятия. В связи с тем, что мониторинг дает данные с самого нижнего уровня производства, то даже маленькие проблемы - демонстрируют уязвимость и возможные точки роста для каждого процесса.

При попытке сгруппировать проблемы, которые становятся очевидными после внедрения системы сбора машинных данных, в “крупную клетку” получится три группы:

- Ошибки прошлого. Что было сделано неправильно еще до начала работы станков
- Люди. Как человеческий фактор влияет на работу конкретного оборудования или целого предприятия
- Неоптимальная или некорректная эксплуатация. Проблемы, связанные с текущей работой с оборудованием

Ошибки прошлого

Современные станки, дорогостоящее оборудование, которое внедряется на производство без соответствующей подготовки, очень быстро может прийти в негодное состояние. Именно на такие станки обычно и устанавливают системы класса MDC, чтобы понять в чем причина их некорректной работы. Неожиданным открытием становится то,

что истоки возникновения проблем кроются в недостаточном опыте персонала, переоценке возможностей предприятия или текущем состоянии производственных мощностей.

Как только внедряется система сбора машинных данных, то некоторые вещи становятся очевидными, но повлиять на них не так просто, так как ошибки были допущены значительно ранее.

Например, очень часто можно встретить такое явление, как нестабильность питающей сети. Новое оборудование, как правило более мощное и при увеличении нагрузки старая питающая сеть не справляется, что приводит к сбоям в работе. Если не отслеживать соответствующие параметры вовремя, то можно долго разбираться в причинах сбоев. Такая проблема особенно характерна для модернизируемых производств, в которых парк станков и оборудования еще только находится в процессе обновления. У производства просто недостаточно данных, такие недочеты могут быть заложены еще на очень ранней стадии и проявиться не сразу.

Нестабильный температурный режим цеха также может стать серьезной проблемой. Недостаточно теплое или плохо охлаждаемое помещение всегда приводит к потерям производительности, в первую очередь, за счет повышения числа бракованных деталей.

Самая банальная ошибка, которую можно заметить в 50% случаев - неквалифицированный монтаж станка. Эта проблема всегда приводит к снижению качества конечного продукта, так как плохо установленный станок сильно вибрирует, а это и есть самая прямая дорога к браку. Тут тоже есть над чем подумать при любом новом внедрении, ведь иногда у монтажников просто не созданы соответствующие условия или выбрано не самое удачное место в цехе.

Непродуманная логистика внутрицеховых перемещений вообще является самостоятельной проблемой, которая оказывает значимое влияние на производительность. Сюда же можно отнести и плохой доступ к оборудованию для установки заготовок, оснастки и инструмента, что влияет уже не только на эффективность конкретного станка, но и на производительность всей производственной системы.

Любые инновации должны внедряться комплексно — приобретение нового оборудования следует увязать с модернизацией сопутствующих служб, методов организации труда и всей системы управления, а это сложная корпоративная задача, которая может упираться в нежелание слышать друг друга и вникать в суть проблем.

Цели внедрения систем мониторинга промышленного оборудования в большинстве случаев — это предупреждение потерь машинного времени, связанных с простоями, вызванными неоптимальным планированием, техобслуживанием, поломками и т. д. Но заданные на входе условия являются не менее важными, чем текущая операционная деятельность и процессы. Поэтому еще до реализации проектов по покупке, установке и эксплуатации оборудования крайне полезно выявить текущие проблемы, которые уже имеются на производстве.

Очень часто руководители предприятий связывают потери машинного времени с деятельностью персонала. Однако при обследовании предприятия выявляются многие другие причины, повлекшие за собой простои оборудования.

Неоптимальная или некорректная эксплуатация

Можно хорошо продемонстрировать это в условиях машиностроительных предприятиях, на которых воплощена система мониторинга DPA и выделить множество причин потери машинного времени на всех этапах жизненного цикла предприятия и изготавливаемого изделия.

В первую очередь, отчетливо проявляются проблемы на этапе планирования производства, очень быстро становятся очевидными многие “болячки”, которые до этого просто не было видно или на них не обращали внимания.

Например, малые партии деталей приводят к частой переналадке оборудования, а любая переналадка — это уменьшение полезного машинного времени. Таким образом,

неоптимальный размер партии деталей - проблема, которая одновременно сильно нагружает ресурсы и при этом значительно снижает эффективность.

Точно такая же ситуация с недостаточным запасом инструмента — станок может простаивать, пока будет доставлена или освободится нужная фреза. А вот неоднозначные указания оператору — это совсем другая история. Пока оператор выясняет: из чего ему изготавливать изделия, каким образом следует настроить станок, куда складировать заготовки и куда перемещать готовую продукцию, откуда брать информацию для отчета о выполненных работах - станок не работает.

Далее, на этапе подготовки обработки изделия выявляются и другие проблемы, например ожидание задания. Предприятие и оператор (при сдельной оплате труда) расплачиваются за неэффективную организацию оперативного планирования. Сюда же относится и непродуманность контрольных операций. Пока оператор измеряет и интерпретирует измерения оборудование просто не загружено новыми задачами.

В том случае, если технолог не смог спроектировать процесс с минимально необходимым числом переустановок заготовки и смены инструмента (а это бывает затруднительно, а порой и невозможно, увидеть без автоматической системы сбора данных прямо со станка) возникает потребность в лишнем перепозиционировании, что неизбежно ведет к увеличению времени обработки детали. То же самое справедливо и для недокументированного процесса переналадки, ведь любая неоднозначность в последовательности действий вызывает ошибки.

#### Человеческий фактор

Самыми интересными и разнообразными проблемами, которые становятся видно после внедрения мониторинга, конечно являются те, что связаны с человеческим фактором. Как ни странно, даже при рассмотрении таких проблем трудно установить их авторство, ведь часто люди становятся заложниками положения и организации работы на предприятии. Более того, часть проблем вообще не связано с работой оборудования. Взгляните на то, в каких случаях возникают проблемы на производстве из обратной связи наших клиентов:

1) Когда оператор недостаточно квалифицирован. Если на предприятии не налажена система непрерывного обучения и повышения квалификации, нет соответствующих периодических аттестаций, то потери рабочего времени практически гарантированы.

2) Плохое самочувствие оператора, связанное с некомфортными условиями труда и отдыха, плохим психологическим климатом в коллективе. Кроме того, часто людей перегружает выполнение несвойственной им работы: один специалист легко справляется с большими партиями простых деталей, другой — с маленькими партиями сложных.

3) Халатность, саботаж и просто слабая мотивация на высокопроизводительную работу — это, как правило, ответ на недостойные условия труда и низкие зарплаты. Умышленное неисполнение своих обязанностей или небрежное отношение к ним негативно влияет на производственный процесс

Несмотря на то, что именно такие проблемы трудно выявить средствами мониторинга оборудования, все равно данные о том, как загружено и эксплуатируется та или иная машина - дают важные сигналы: Завышенные режимы, работа в нерабочее время, «левак», кастомные управляющие программы и прочее.

В некоторых случаях проблемы настолько глубоко укоренились на предприятиях, что руководители среднего уровня сознательно не внедряют систему мониторинга оборудования, так как опасаются увольнения и других “санкций”. Ведь у них под носом может твориться настоящий бардак и это практически невозможно обнаружить.

Вот несколько конкретных примеров из портфолио решенных кейсов с помощью продукта ДРА, которые иллюстрируют применение системы мониторинга станков и то, как она обнажает проблемы на производстве:

● При подключении станков к системе анализа машинных данных была проанализирована производительность оборудования. Выяснилось, что работник с самыми высокими показателями качества работы, обеспечивал себе премию, спуская в стружку испорченные заготовки. Потери материала разносились на весь цех и были незаметны в общей массе.

● Сотрудник, учитывая повременную оплату труда, занижал подачу на станке. Управляющая программа выполнялась дольше, позволяя снизить нагрузку на персонал. Служба безопасности контролируя, согласно регламенту, производство через видеонаблюдение, не обнаруживала отклонений, наблюдая станок в работе и «зеленый светорфор». Предприятие теряло в производительности. Правильно настроенная система анализа машинных данных диагностировала ситуацию, как «Саботаж».

● Сотрудник по собственной инициативе увеличивал подачу на станке до 150%. Это позволяло выполнить план быстрее и поспать в ночную смену или компенсировать просчеты в работе, не доводя их до руководства. Дорогостоящее оборудование часто выходило из строя. Руководство предъявило претензии к поставщикам оборудования. По инициативе производителя станков была установлена система мониторинга и настроены сообщения главному механику о выходе станка в критические режимы работы. После предпринятых мероприятий оборудование больше не выходило из строя, требуя только планового ТО.

● На участке изготовления оснастки технологи передавали доработку пресс-форм опытным станочникам, которые правили управляющую программу на станке, изготавливали оснастку и передавали ее в производство. По мере износа пресс-форм требовалось изготовить дубликат, но управляющая программа к тому моменту, как правило, была утеряна. Правильная организация библиотеки управляющих программ у технолога с возможностью «выкачивания» фактически исполняемого кода, позволила сохранять эталонную управляющую программу и повторять оснастку без существенных затрат.

● Конструируя особо важную деталь самолета, конструкторская и технологическая службы выполняли разработку в сложных системах CAD/CAM, производили испытательные расчеты и компьютерную симуляцию обработки с учетом свойств материала, оборудования и инструмента. Технология изготовления утверждалась главным конструктором и технологом. Переданная на станок управляющая программа изменялась оператором согласно его пониманию об оптимальной обработке. Титановая заготовка весом в десятки килограмм была испорчена, рабочая группа получила неверное понимание результатов разработки. Пометка в библиотеке о различии версий загруженного и «выкачанного» кода позволила выяснить истинную причину провала и ликвидировать ее влияние на дальнейшую разработку.

По нашей практике, в основе каждой, на первый взгляд, технической проблемы лежит проблема человеческая. Тайити Оно, основоположник бережливого производства на заводах Toyota разработал замечательную технологию “5 почему?”, которая позволяет подвергнуть глубокому анализу любую проблему на предприятии.

Посмотрите как автоматическая система сбора машинных данных отвечает на вопросы производства на примере поломки станка:

1. Почему станок остановился? (Инструмент сломался)
2. Почему инструмент сломался? (Режимы были завышены)
3. Почему режимы были завышены? (Оператор хотел ускорить обработку)
4. Почему оператор хотел поскорее закончить обработку? (Было отставание по сменно-суточным заданиям)
5. Почему было отставание? (Не было заготовок)

Именно поэтому внедрение любой системы мониторинга порождает системные изменения. Невозможно запустить станок, если кто-то из смежного подразделения вовремя

не сделал свою работу и не предоставил заготовки. А какие вопросы можно задать на Вашем производстве?

Внедрение мониторинга оборудования - первый шаг на пути к автоматизации производства.

Как и в любом другом деле правильный результат достигается путем сложения многих элементов. На промышленных предприятиях это комбинация эффективного планирования, организации производства, выбора инструмента и оборудования, тщательной подготовки технологического процесса, обучения персонала и контроля за его действиями.

Усилия в области автоматизации производства могут сократить или исключить многие потери. Но начать нужно с анализа и оптимизации сложившихся условий на предприятии. Попытка автоматизировать неоптимальные алгоритмы работы приведет лишь к перерасходу ресурсов.

Борьба с вышеописанными проблемами идет на уровне ERP и MES-систем. Но и на уровне обработки машинных данных можно получить много полезной информации и локализовать возможные производственные неприятности. Задача правильно собрать и интерпретировать данные с ЧПУ - важный элемент в работе предприятия. Получая информацию о текущем состоянии технологического процесса можно предотвратить аварии, потери и брак, уменьшить их негативные последствия. Это позволит сократить затраты и повысить производительность.

При этом, заинтересованность всех уровней производства и менеджмента на предприятиях - единственный возможный сценарий, когда система мониторинга приносит максимальную пользу. А какие-либо позитивные изменения вообще возможны.

В связи с этим, можно сформулировать самую главную проблему, которая особенно ярко проявляется в России. Производственный персонал, руководители среднего звена и высший менеджмент часто преследуют совершенно разные цели. Этот разрыв подпитывается сложившимися "внутренними правилами" поведения в цехах, бюрократией и потребительским отношением к людям, как к ресурсам со стороны больших начальников. Вот и получается, что в эффективных изменениях не оказывается заинтересован никто.

Однако, наметился и другой, более здоровый тренд. Когда серьезные компании выступают за принципы бережливого производства, аккуратно внедряют технологии и вводят изменения без "снятия скальпов" - растет удовлетворенность персонала, эффективно используются ресурсы предприятия и в конечном счете растет качество продукции для потребителя.

Когда все уровни предприятия заинтересованы в позитивных изменениях, работают над развитием своей зоны ответственности, то даже несмотря на разные конечные цели у каждого из них - результаты всего предприятия идут вверх.

С помощью мониторинга и данных получаемых с самого нижнего уровня производства можно увидеть, как конкретизируется ответственность, становятся единообразными формы отчетности, а каждый на предприятии начинает заниматься своим делом более заинтересовано.

Первое лицо и/или владелец получают информацию в обобщенном виде с возможностью детализации. Он имеет возможность взглянуть на показатели эффективности производства и сравнить текущие показатели с аналогичными показателями прошлых периодов и с плановыми. Руководитель получает мощное средство дистанционного контроля и данные для принятия решений.

Руководители среднего звена анализируют фактические показатели производства и обрабатывают отклонения для достижения заданной производительности. Всегда своевременно организуют помощь профильного специалиста (технолога, механика, контролера и т. д.) или ресурсное подкрепление (заготовки, инструмент, оснастка, транспорт, расходники, удаление отходов и т. п.).

Технолог в реальном времени контролирует параметры режимов обработки, критические нагрузки на оборудование и инструмент, фактическое время распределения

режимов обработки и состояний станка, а также управляет библиотекой управляющих программ. Механики и операторы станка получают точную информацию о состояниях, режимах работы, данные о вибрациях и ошибках, оборудование становится проще в эксплуатации.

Более того, казалось бы, технологическому процессу присоединяются и службы, которые лишь опосредованно связаны с ним, так как теперь есть достаточно точные данные для управления совершенно другими процессами. Например, служба персонала учитывает квалификационные уровни работников и имеет данные о реальных трудозатратах в привязке к результатам работы. Служба безопасности получает сигналы о нарушениях регламентов входящих в их компетенцию (попытки выполнения незапланированных операций или фальсификации данных). Сервисная служба оптимизирует обслуживание станка или его восстановление после аварии. Поставщик станка сохраняет эталонные параметры, использует накопленные за период эксплуатации данные для улучшения послепродажного обслуживания и совершенствования линейки выпускаемой продукции. На этом пути изменений мониторинг оборудования — это только первый шаг к тому, чтобы точно знать, что происходит в цехе и начать управлять процессом осознанно, на основе данных. Это внедрение, которое неизбежно сталкивает интересы людей, но если на предприятии на самом деле преследуют цели улучшения показателей производства, то появление MDC системы — это решение, которое значительно приближает

УДК 004+72+378

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИНТЕГРАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС АРХИТЕКТОРОВ

Захарова Г.Б.

ФБГОУ ВО «Уральский государственный архитектурно-художественный университет»

**Аннотация.** Дефицит специалистов, имеющих навыки работы и умение адаптироваться в новой динамично развивающейся информационной среде, определяет актуальность внедрения инновационной тематики и новых методов обучения в образовательный процесс. В статье на примере архитектурно-строительной отрасли на основе обзора российских и зарубежных источников показан уровень проникновения современных технологий в образовательный процесс будущих архитекторов. Обобщен опыт автора в преподавании инновационных технологий магистрантам-архитекторам в рамках курса «Современные информационно-компьютерные технологии» в Уральском государственном архитектурно-художественном университете. Представлена тематика, предложенная к изучению, которая включает такие разделы, как умный город, BIM и Green BIM технологии, искусственный интеллект, AR/VR и др. Описаны методы, повышающие эффективность обучения. По результатам анкетирования по итогам курса сделаны выводы и сформулированы рекомендации по эффективному внедрению цифровых технологий в учебный процесс.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, новые информационные технологии, BIM, Green BIM, искусственный интеллект, образование, архитектура, анкетирование

### Введение

Повышение эффективности строительной индустрии в эпоху цифровой трансформации во многом определяется внедрением новых технологий. Это такие технологии как BIM – информационное моделирование зданий, Green BIM – автоматизированное энергоэффективное и экологичное проектирование объектов капитального строительства в целях устойчивого развития территорий, а также достижения искусственного интеллекта (ИИ), такие как умный город, умный дом, цифровые двойники, интернет вещей, генеративный дизайн, машинное обучение, дополненная и виртуальная AR/VR и др.

В соответствии с новыми реалиями формируется новая парадигма проектно-строительной деятельности. Так, внедрение BIM направлено на эффективное управление процессами на всех этапах жизненного цикла объекта: планирование, проектирование, строительство, эксплуатация. Это управление коллективной работой, где каждый участник применяет адекватные инструменты для выполнения обязанностей в зоне своей ответственности. Исследования [1, 2] на основе статистики применения BIM в ряде европейских стран показывают, что в России в настоящее время относительно невысокий процент внедрения BIM-технологий, однако на государственном уровне предпринимаются активные действия по распространению данной технологии, в результате чего можно отметить рост: в 2020 году 7% российских застройщиков использовали BIM, а на март 2021 г. около 12%.

BIM также открывает возможности для интеграции модели с другими инновационными технологиями. Так, «зеленое» энергоэффективное строительство и «зеленая» сертификация зданий являются чрезвычайно востребованными направлениями в контексте устойчивого развития, а в синтезе с BIM экологическое строительство дает большой синергетический эффект. Благодаря стремительному развитию ИИ проектно-строительная отрасль получает такие инновационные решения, как цифровые близнецы

зданий и городов, управление объектами на основе интернета вещей и больших данных, интеллектуальная робототехника и другие.

Успешное внедрение новых технологий в практику проектирования и строительства во многом определяется наличием кадров, способных положительно воспринимать изменения и осваивать их в короткие сроки. Рынок труда в настоящее время остро нуждается в специалистах, готовых включиться в работу на современном уровне, и большие надежды возлагаются здесь на выпускников высшей школы, которые не обременены предыдущим опытом и легко адаптируются к инновациям. Однако практика показывает, что выпускники архитектурно-строительных вузов зачастую слабо подготовлены к тому, чтобы быстро вписаться в практическую деятельность, поскольку существует разрыв между обучением и требованиями организаций к современному специалисту. Сегодняшняя проектно-строительная индустрия требует архитектора-технолога, умеющего ориентироваться в инновационной среде, владеющего самыми современными инструментами проектирования, а также навыками коллективной работы и коммуникаций. По этой причине часть выпускников архитектурных вузов не может сориентироваться в меняющемся мире профессиональной практики и выпадает из профессии, а отрасль теряет необходимый ресурс. Этим определяется актуальность данного исследования, предлагающего в контексте классической парадигмы обучения способы эффективного практико-ориентированного обучения новым технологиям.

Далее на основе анализа ряда российских и зарубежных публикаций покажем уровень проникновения современных ИТ в образовательный процесс архитекторов. После этого кратко опишем курс «Современные информационно-компьютерные технологии (ИКТ)», проведенный автором для магистрантов-архитекторов, и на его примере покажем методы и приемы, направленные на то, чтобы выпускники были более восприимчивым к изменяющимся условиям. Анализ выполнен на основе анкетирования студентов по итогам курса, сделаны обобщения и даны соответствующие рекомендации.

## **1. Инновационные технологии в архитектурном образовании (обзор литературы)**

Несмотря на то, что образовательная среда в целом является достаточно консервативной, новые технологии находят отражение в образовательном процессе будущих архитекторов, поскольку проектно-строительная отрасль остро нуждается в специалистах, владеющих современными инструментами проектирования и управления строительством.

В статье [3] описывается внедрение BIM технологий для повышения качества преподавания архитектурного проектирования, излагаются проблемы, связанные с недостаточной интеграцией инновационных методов в учебный процесс. Работа [4] раскрывает тематическое исследование уровня знаний студентов вуза, их взгляд на современное компьютерное моделирование и управление, а также на текущие бизнес-операции и отслеживание препятствий для внедрения технологии BIM. Практический пример основан на результатах анкетирования студентов, изучавших BIM.

Обзор [5] выполнен с целью анализа тенденций в сегодняшних глобальных академических исследованиях в области BIM-образования. Отмечено, что наиболее активные преподаватели и исследователи разрабатывают учебные программы и курсы BIM, а также создают решения для препятствий, с которыми сталкиваются при интеграции BIM в систему высшего образования. Отмечено 6 направлений, по которым предпринимаются усилия: 1 – определение потребностей в BIM в вузах, 2 – определение основных навыков для обучения BIM, 3 – разработка образовательных структур, 4 – разработка учебных программ, 5 – эксперименты с курсами BIM, 6 – разработка стратегий для преодоления образовательных проблем BIM.

В статье [6] проведен анализ методов, которые используются вузами по всему миру для интеграции BIM с целью определить, существует ли набор соответствующих нормативных указаний. Наша статья [7] с ее практико-ориентированной методикой

преподавания BIM и Green BIM, где мы определили набор компетенций, необходимых современному специалисту, также вошла в обзор [6].

В статье [8] описаны совместные и активные, проектные и проблемные методы обучения. BIM поощряет и позволяет использовать реалистичное моделирование проектов и постановку задач, а характер BIM как способа совместной работы подтолкнул преподавателей к реализации междисциплинарных моделей. Приведена концептуальная классификация усилий BIM-педагога и исследователей в системах высшего образования.

Круг экологических проблем делает обязательным разумное использование ресурсов в архитектурно-строительной практике, поскольку здания как главный продукт архитектуры являются основными потребителями ресурсов, а также основными загрязнителями окружающей среды. Это направление должно находить отражение в образовательном процессе [9, 10]. На основании анализа многочисленных публикаций можно утверждать, что Green BIM как инструмент информационного моделирования в экологическом строительстве дает много преимуществ. В статье [11] после углубленного обзора сотен журнальных статей и широко используемых типов программного обеспечения BIM строится модель интеграции BIM и «зеленого» строительства в виде треугольника, в котором заключены 3 направления для взаимосвязи: стадии проекта, экологические атрибуты и атрибуты BIM.

В обзоре [12] отмечено, что лишь небольшое количество исследований сосредоточены на разработке BIM инструментов для управления экологическими показателями на этапах обслуживания, модернизации и сноса зданий, основное внимание уделено стадиям проектирования и строительства. Авторы предполагают, что в будущем следует разработать BIM для мониторинга и управления экологической устойчивостью на протяжении всего жизненного цикла здания. Исследование [13] представляет онлайн-платформу Green2.0, которая интегрирована с социальной сетью, что позволяет конечным пользователям или профессионалам делиться своими взглядами на проектирование зданий. Затем для извлечения информации из этих взаимодействий используются инструменты социального анализа и семантического моделирования. В то же время платформа связывает BIM с программным обеспечением для анализа энергии, что позволяет пользователям выбирать различные продукты из каталога и оценивать влияние каждого из них на потребление энергии.

Рост технологии BIM открывает новые горизонты для развития умных зданий [14]. Преимущества применения BIM в области интеллектуальных зданий включают такие аспекты, как интеграция BIM с другими системами, обмен информацией, визуализация процессов и моделирование функций здания. Функции интеллектуального здания, которые можно реализовать с помощью BIM, направлены на снижение энергопотребления, увеличение экономических выгод, улучшение качества жизни пользователей и интеграцию других информационных технологий для улучшения автоматизации зданий.

Исследование [15] в области цифровых близнецов для застроенной среды за счет интеграции BIM и интернета вещей (IoT) представляет ещё одно новое направление. Цифровые близнецы за счет подключения к онлайн-датчикам в реальном времени позволяют синхронизировать реальный мир с виртуальной платформой для управления объектами, управления процессом строительства, мониторинга окружающей среды и другие процессы жизненного цикла. Авторами разработана пятиуровневая система категоризации на основе жизненного цикла здания от BIM к цифровому двойнику.

В статье [16] описаны другие технологии обучения как с точки зрения устройств, так и программного обеспечения. Это применение VR в обучении; проекторы, встроенные в телефоны; часы с сигнализацией от сонливости на основе измерения пульса; особая сумка, подключенная к программному обеспечению, которое в соответствии с расписанием рекомендует книги и др. Технологии ориентированы на индивидуальные способности студента. Большинство студентов предпочитают видео лекции вместо слайдов, так как это повышает уровень понимания.

Развитие ИИ оказывает влияние и на содержание, и на процесс обучения. Систематический обзор [17] более 4000 журнальных статей, опубликованных в 1997–2020 годах, показал резкий рост публикаций за последние 10 лет с ростом популярности таких ключевых слов как BIM, цифровые близнецы, AR/VR, компьютерное зрение, обработка естественного языка, интеллектуальный анализ процессов и другие технологии. Применение этих моделей направлено на моделирование, прогнозирование и оптимизацию работы объектов на основе данных на протяжении всего жизненного цикла.

## 2. Современные ИКТ в магистерской программе архитекторов

В учебных планах студентов-архитекторов новые технологии пока не находят решительного применения. Мы провели информационный поиск по наличию в вузах России магистерских программ, посвященных ИТ и новым технологиям в архитектуре. Найдены единичные примеры по отдельным аспектам проблематики. В этих условиях одной из форм внедрения ИТ в учебные программы является кардинальное обновление существующих дисциплин. Так, для магистров-архитекторов 1 курса в составе обязательных предметов предусмотрена дисциплина «Современные ИКТ». Широко сформулированное название позволяет периодически обновлять программу в ответ на происходящие изменения в сторону инноваций в отрасли.

Из-за небольшого объема дисциплины программа носит обзорный характер и в то же время отличается большой насыщенностью. Лекции дополнены самостоятельными практическими работами. Были предусмотрены также коллективные задания для развития коммуникативных навыков работы в группе с учетом профиля образовательной программы «Архитектура». Это такие профили как теория и история архитектуры, архитектура зданий и сооружений, архитектурно-планировочная организация поселений, реставрация и реконструкция архитектурного наследия, архитектурно-ландшафтное проектирование, архитектура объектов промышленной инфраструктуры города. Для каждой из этих специализаций актуальны новые информационные технологии для проектирования, визуализации, презентации, продвижения и др.

Тематика курса охватывает следующие направления:

- *Умный город*: общее понятие, этапы развития; критерии и индикаторы, индекс качества городов, IQ города; банк решений умного города; технологии IoT, Big Data, BIM, GIS, CIM, Digital Twins.

- *BIM-технологии*: BIM как процесс создания и управления информацией об объекте на всех этапах жизненного цикла; 4D, 5D, 6D 7D моделирование; новые роли при проектировании: BIM-менеджер, BIM-координатор, BIM-мастер; программное обеспечение (обзор).

- *Green BIM*: технологии энергоэффективности в целях устойчивого развития территорий; энергомоделирование; пассивный и активный дом; системы сертификация зданий по «зелёным» стандартам.

- *Искусственный интеллект*: умный дом; нейросети; генеративный дизайн; 3D-печать; роботы-строители; дроны для мониторинга и контроля строительства.

- *Визуализация архитектурных объектов*: виртуальный тур; интерактивная 3D-визуализация; AR/VR; проекционные технологии: видеомеппинг; генеративная графика.

- *Технологии презентации и продвижения архитектурных объектов*: презентации – смысл, структура, оформление (инфографика, типографика, композиция, цвет); публичное выступление (алгоритм подготовки, преодоление волнения, управление вниманием); представление архитектурной концепции, проектной и рабочей документации архитектурного раздела BIM-модели для согласования.

### 3. Анкетирование магистрантов по результатам обучения

Курс «Современные ИКТ» в силу необходимости в 2020 и 2021 годах был проведён в дистанционном формате на платформах Zoom и Pruffme. Появился определенный опыт, уверенность в необходимости таких знаний для студентов-архитекторов. По окончании курса было проведено анкетирование «Удовлетворенность обучением по дисциплине "Современные ИКТ"». Одна группа вопросов относилась к общим сведениям о студентах – география, предыдущее образование, работа, мотивация поступления в магистратуру, желание далее заниматься наукой. Вторая группа вопросов – оценка самого курса точки зрения его содержания и реализации, третья – отношение к форме проведения и в частности к дистанционному формату. Было получено 36 анкет.

Большинство студентов поступили в магистратуру после окончания УрГАХУ, другие приехали в основном из городов Урало-Сибирского региона. Совмещают учебу с работой порядка 60% студентов. В плане мотивации обучения в магистратуре большинство студентов привлекает получение новых знаний и дальнейшее развитие, а также возможность получить более престижную должность в дальнейшем.

Для примера приведем ответы на один из 16 вопросов анкеты – «Что понравилось в курсе» (табл. 1). Студенты положительно оценили и содержание, и форму подачи. Особенный интерес и одобрение вызвало систематическое приглашение на занятия представителей различных компаний – проектных, инженерных. Благодаря дистанционному формату можно было подключать специалистов из других городов.

Таблица 1. Ответы на вопрос «Что понравилось в курсе»

Ответы студентов	Количество ответов
Приглашение практикующих специалистов по темам лекций	33
Интересный актуальный материал, разнообразие тем, концентрированный объем информации по теме, ссылки на полезную информацию	14
Четкая, грамотная, неординарная подача информации, системность изложения материала, интересные презентации	11
Доверительное и заинтересованное отношение преподавателя к студентам, живое общение, интересная атмосфера в zoom; увлеченное отношение преподавателя к предмету	9
Помощь в трудоустройстве студентов	4

На вопрос «Что нового узнали» студенты отметили более глубокое понимание BIM-технологий, многих заинтересовала тематика умного города и вопросы зелёного строительства. Пожелания «Что изменить в курсе» были реализованы в следующем после анкетирования году: домашние задания уменьшены по количеству и носят более творческий характер. Отношение к дистанционной форме обучения в 64% ответов положительное («отличное, хорошее, нормальное, это замечательно, вполне комфортно, практично, удобно, освобождается время, можно совмещать работу с учебой, смотреть в записи в удобное время, формат позволил связаться с удаленными спикерами»). Закрытая группа на платформе VK была отмечена как удобная форма коммуникации для размещения полезных ссылок, записей занятий, заданий, опросов и т.д.

### 4. Заключение

В заключение отметим, что введение даже в традиционные образовательные программы тематики, связанной с новыми технологиями не только необходимо, но и возможно. Наиболее активные преподаватели разрабатывают учебные программы и курсы, а также создают решения для препятствий, с которыми сталкиваются при интеграции

современных ИТ в системы высшего образования. Идёт формирование концептуальных категорий, по которым предпринимаются усилия специалистов и исследователей, таких как определение потребностей обучению технологиям, определение основных компетенций, разработка учебных программ, эксперименты с курсами, стратегии для преодоления образовательных проблем.

Как один из примеров в данном направлении представлен курс «Современные ИКТ» по цифровизации профессиональной деятельности в архитектурно-строительной отрасли. Наибольшее одобрение у студентов вызвало участие в занятиях приглашенных практикующих специалистов из инновационных компаний, что в свою очередь способствует трудоустройству студентов, поскольку компании заинтересованы в молодых специалистах. Компании предлагают также места для прохождения производственной практики. Студенты ценят актуальность информации, интересную подачу, заинтересованность и увлеченность преподавателя. Необходимо тщательно продумывать размер и характер домашнего задания: нужны творческие и практически направленные работы. При грамотно организованном процессе даже дистанционный формат становится не столько недостатком, сколько преимуществом.

### Литература

1. PropTech в России: Обзор практики применения BIM-технологий и инновационных решений в области проектирования. URL: <https://www.pwc.ru/ru/publications/proptech-russia-2020.html> (дата обращения 15.03.2022).
2. Россия – мировой лидер по государственной активности в сфере распространения BIM. 20 августа 2021. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=21988&fbclid=IwAR0DOW9jel60v9wPcD0PxY-7opjCXei6j99M3mZBEEVw4DhDoviz9xANqRk](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21988&fbclid=IwAR0DOW9jel60v9wPcD0PxY-7opjCXei6j99M3mZBEEVw4DhDoviz9xANqRk) (дата обращения 15.03.2022).
3. Wangtu Xu. Teaching Method Reform for Architectural Design Courses Using the Building Information System (BIM) Technology – Case Study of the Teaching of Building Information Engineering Management Technology Course. 4th Annual International Conference on Education Science and Education Management (ESEM 2019).
4. Prušková Kristýna. Case study about BIM technology and current knowledge of university students and their view on this issue. URL: [https://www.researchgate.net/publication/338467828\\_Case\\_study\\_about\\_BIM\\_technology\\_and\\_current\\_knowledge\\_of\\_university\\_students\\_and\\_their\\_view\\_on\\_this\\_issue](https://www.researchgate.net/publication/338467828_Case_study_about_BIM_technology_and_current_knowledge_of_university_students_and_their_view_on_this_issue) <https://doi.org/10.1201/9780429021596-83>. 2019. (дата обращения 15.03.2022).
5. Chegu Badrinath, Chang Y., Hsieh S. A review of tertiary BIM education for advanced engineering communication with visualization. Vis. in Eng. 4, 9. <https://viejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40327-016-0038-6#author-information>. <https://doi.org/10.1186/s40327-016-0038-6> (дата обращения 15.03.2022).
6. Besné A., Pérez M.Á., Necchi S., Peña E., Fonseca D., Navarro I., Redondo E. A Systematic Review of Current Strategies and Methods for BIM Implementation in the Academic Field. Appl. Sci. 2021,11, 5530. <https://doi.org/10.3390/app11125530>.
7. Zakharova G.B., Krivonogov A.I., Kruglikov S.V., Petunin A.A. Energy-efficient technologies in the educational programs of the architectural higher education schools // Acta Polytech. Hungarica 2020. V. 17. № 8, pp. 121-136.
8. Puolitaival Taija, Kestle Linda. Teaching and learning in AEC education – the building information modelling factor // Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 2018, Vol. 23, pp. 195-214. URL: <http://www.itcon.org/2018/10> (дата обращения 15.03.2022).

9. Krivonogov A., Zakharova G., Kruglikov S., Plotnikov S. Implementation of BIM-technologies in the educational program of the architectural university. MATEC Web of Conferences. 9th International Conference Building Defects 2017, Ceske Budejovice, Czech Republic, 2018. V. 146.
10. Zakharova G., Krivonogov A., Petunin A. The Need for Teaching of Green BIM Technologies in Higher School of 21th Century // Russian Journal of Construction Science and Technology. 2017. T. 3. № 1. C. 74-79.
11. Yujie Lu, Zhilei Wu, Ruidong Chang, Yongkui Li: Building Information Modeling (BIM) for Green Buildings: A Critical Review and Future Directions, Automation in Construction, Volume 83, November 2017, pp. 134-148.
12. Johnny Kwok, Wai Wong, Jason Zhou. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through Green BIM: A review // Automation in Construction, Volume 57, September 2015, pp 156-165.
13. Tamer El-Diraby, Thomas Krijnen, Manos Papagelis: BIM-based Collaborative Design and Socio-technical Analytics of Green Buildings // Automation in Construction, Volume 82, October 2017, pp. 59-74.
14. Ang Yang, Mingzhe Han, Qingcheng Zeng, Yuhui Sun, "Adopting Building Information Modeling (BIM) for the Development of Smart Buildings: A Review of Enabling Applications and Challenges" // Advances in Civil Engineering, vol. 2021, Article ID 8811476, 26 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8811476>
15. Min Deng, Carol C. Menassa, Vineet R. Kamat (2021). From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Special issue: 'Next Generation ICT – How distant is ubiquitous computing?'. 2021, Vol. 26, pp. 58-83, DOI: 10.36680/j.itcon.2021.005.
16. Ayushman Biswari. Learners Prospect on Incorporating Technology in Classroom – A Case Study Research. April 2020 DOI: 10.13140/RG.2.2.22700.00645 [https://www.researchgate.net/publication/340337146\\_TECHNOLOGY\\_THE\\_HOUR'S\\_NEED](https://www.researchgate.net/publication/340337146_TECHNOLOGY_THE_HOUR'S_NEED) (дата обращения 15.03.2022).
17. Yue Pan, Limao Zhang. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends // Automation in Construction. Vol. 122, February 2021.

УДК 004.896

## ПЕРЕДАЧА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ЦСЛ С ИКМ

Русакова Е.А., Егоров В.Б.

ФГБОУ ВО «УрГУПС», кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на ж.д. транспорте», г. Екатеринбург

**Аннотация.** Передовые способы передачи цифровых сигналов пакетным способом уже более 20 лет (с 2000 годов) постепенно вытесняют прежние способы передачи сигналов речи и данных по цифровым соединительным линиям, образованным с использованием импульсно-кодовой модуляции (ЦСЛ с ИКМ). И этот процесс понятен, так как пакетная передача («интернет») на порядки более эффективна и универсальна хотя и значительно дороже в исполнении. Но инженеры ИТ не сдаются и придумали медиаконвертеры (шлюзы), которые позволяют (почти не снижая скорости) передавать пакеты (и видеоизображения в том числе) по имеющимся ЦСЛ с ИКМ.

На рудниках и в шахтах горных предприятий пока еще имеется много ЦСЛ с ИКМ, используемых для передачи речи и данных, но значительная часть этих ЦСЛ уже фактически не используется. Их то и можно применить для передачи видеоизображений с мест добычи, погрузки или хранения продукции, дооборудовав эти ЦСЛ шлюзами.

**Ключевые слова:** ЦСЛ с пакетной передачей, ЦСЛ с ИКМ, медиаконвертер (шлюз), фрагменты пакета данных, разделение пакета на фрагменты и их последующее восстановление после передачи ЦСЛ Е1.

В производственных условиях: в помещениях, на транспортных путях, в карьерах, рудниках, и в шахтах иногда необходимо непрерывно контролировать производственный процесс. Повсеместно для такого контроля используют видеокамеры, от которых видеоизображения передают в центр контроля, в котором эти изображения представляют на общем телеэкране. Опытный работник наблюдает на этом экране рабочие процессы и при их отклонении от нормы предпринимает различные решения: от корректировки процесса на каком-либо производственном участке, до его остановки в случае необходимости.

Для организации такого видеоконтроля необходимо обеспечить передачу этих видеоизображений в центр контроля, который может находиться далеко или даже очень далеко от контролируемого участка.

Повсеместно в процессе контроля для передачи видеоизображений используют пакетный способ передачи сигналов, более известный как «Интернет». Но для его применения требуются высококачественные линии, такие, например как ВОЛС, и соответствующие системы передачи. Эти изделия, их прокладка и эксплуатация очень дороги и очень часто именно это сдерживает применение систем видеоконтроля. В то же время на многих производственных предприятиях сохранились и еще используются прежние системы передачи, построенные на основе импульсно-цифровой кодовой модуляции, т.е. всем известные цифровые каналы Е0, Е1 и т.д. вплоть до STM4, введенные в работу еще в 90-е годы. Так как за прошедшие годы часть связей из этих систем была переведена на системы пакетной передачи, то в составе этих устаревающих систем с ИКМ образовалось много свободных ЦСЛ класса Е1 (2 мбит/сек., 32 канала Е0 с 64 кбит/сек., разделенных на 2 группы по 15 каналов Е01-Е015 и Е017-Е030 и Е00-Е031) используются для передачи синхросигналов и сигналов сигнализации.

С учетом этого факта сначала за рубежом, например, в Китае, а затем и на нашем рынке появились новые устройства, которые получили название медиаконвертер или шлюзы. Эти шлюзы позволяют передавать пакеты из ЦСХ с ПП по ЦСЛ с ИКМ-

фрагментами по 15байтов каждый (используя группы каналов (Е01-Е015 или Е017-Е030) , а на приеме восстанавливать из этих фрагментов весь переданный пакет. При этом скорость передачи пакетов остается практически такой же, как и скорость передачи битов по ЦСЛ Е1, т.е. 1мбит/сек при передаче байтов Е01-Е015 или Е017-Е030, а возможно и 2мбит/сек, если для передачи используются и те и другие группы байтов. По-видимому возможна и передача со скоростью до 8мбит/сек в рамках ЦСЛ Е2, но и в этом случае основу составляют фрагменты пакета по 15байтов каждый, передаваемый друг за другом в рамках временного цикла.

Подобная система передачи сравнительно недавно появилась и на сетях связи РЖД. Пока основу сети РЖД составляют системы передачи по ЦСЛ с ИКМ класса STM1 и STM4 под названием SMK30. Система SMK30 представляет собой кассету, в которую вставляют платы различного назначения для стыковки с ВОЛС, для выделения определенных Е2, а затем Е1, а в них определенных Е0 и т.п.

Инженеры завода «Пульсар» (г. Пенза), на котором с 2010г. выпускали системы SMK30 для сетей связи РЖД, разработали плату СМЦИ4К на 4шлюза, рассчитанных на скорости по 2мбит/сек каждый. Такие шлюзы были установлены на одном из участков СвЖД длиной 55км и с 4 промежуточными станциями, на каждой из которых была установлена промежуточная ЦСП SMK30. В них были вставлены платы СМЦИ. В один из портов, каждой из них на каждой из станций и были включены видеокамеры для контроля обстановки на этих станциях. На крупной станции на конце участка у дежурного по станции (ДСП) был установлен экран, на котором и были представлены изображения обстановки на промежуточных станциях, полученные по ЦСЛ Е1 через СМЦИ. Такое решение позволило обойтись без постоянных ДСП на всех четырех промежуточных станциях.

Можно предположить, что скорости 1мбит/сек или 2мбит/сек. недостаточно для передачи четких изображений, т.к. во всех рекламных предложениях рекомендуются скорости в десятки, а то и в сотни МБит/сек (недавно видел листовку с предложением ввести в квартиру «Интернет» со скоростью передачи 1гбит/сек)!??

Со времени изобретения кино известно, что, если показывать отдельные кадры, друг за другом со скоростью 24кадра за 1секунду, то из-за инерции восприятия человеком эти кадры сливаются в непрерывное изображение видимого процесса. Из этого следует, что на показ каждого кадра надо выделять время не более 40 мл. секунд. С другой стороны известно, что для демонстрации фильма в цифровом телеприемнике или смартфоне достаточно скорости передачи, составляющей около 2мбит/сек. Следовательно изображение каждого кадра кодируется 80:10з битами или 10\*10з байтами. При пакетной передаче данных весьма вероятно, что каждый кадр размещается в отдельном пакете (с адресом, защитой и т.д.) Так как пакетная передача примерно на порядок (т.е. не менее, чем в 10раз) более эффективна, чем передача с использованием ИКМ, то следовательно пакет с видеоинформацией содержит около 1000байтов, что вполне подтверждается сведениями из статей и учебников. При этом следует отметить, что передача пакета совсем не обязательно должна идти со скоростью 2мбит/сек. Процессор системы с ПП из потока пакетов выделяет нужные и направляет их друг за другом в приемник изображения с нужной скоростью и скважностью. Поэтому скорость передачи по ЦСЛ видеоизображений может быть любой.. С другой стороны при передаче видеоизображений с производственных видеокамер не требуется высокого качества воспроизведения. Ведь нужно увидеть, что кто-то вошел в помещение и кто именно вошел. Поэтому во многих случаях достаточно скорости и в 1,0 мбит/сек. и меньше (но не менее 0,1мбит/сек с учетом 40млсек на кадр).

С учетом этих соображений и была, по-видимому разработана плата СМЦИ4К для SMK30, на которой процессор может обслуживать 4Е1 (скорости передачи по ЦСЛ с ИКМ от 1мбит/сек, до 8мбит/сек, а может и ЦСЛ по 0,5Е1 передавать друг за другом до 4изображений выделяя по 0,25 Мбит/сек на каждое.

Так на одном из участков СвЖД с 4промежуточными станциями в систему передачи СМК30 имеющуюся на каждой станции. В каждую из них были включены платы СМЦИ 4К, а через них 4видеокамеры, установленные в помещениях ДСП (дежурного) этих станций. В помещении ДСП крупной жд. станции на конце участка через свою СМК30 и свою плату СМЦИ4К изображения с видеокамер 4станций транслировалось на общий телеэкран, так что ДСП может постоянно контролировать обстановку на этих станциях и поэтому постоянного присутствия ДСП на них не потребовалось, что и послужило оправданием применения на этом участке новых устройств, а именно шлюзов.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Технологическое описание продукции ООО НПЛ «Пульсар» п/и 440060 г. Пенза ул. Победы, д. 25

2. Егоров В.Б. «Передача пакетов по «старому» тракту или передача пакетов по трактам с ИКМ». Материалы НПК «Подвижной состав ж.д. дорог, тяга поездов и электрофикация» УДК621.391.052(075) г. Уфа 01.03.2015г.

3. Егоров В.Б. «Эффект применения медиаконвертеров (шлюзов) на существующих сетях связи РЖД. МНЖ «Научные вести №5(10) за 2019г.

УДК 004.896

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ САМОХОДНОЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКОЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ

Тельманова Е.Д., Родыгин А.А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье предложено решение проблемы низкой эффективности электропотребления самоходной буровой установкой посредством создания интеллектуальной сети. Сделана сравнительная оценка методов прогнозирования потребления электроэнергии в системах электроснабжения с постоянно изменяющейся нагрузкой. Было определено, что данные о электропотреблении самоходной буровой установкой, представленные в виде временного ряда, в ходе декомпозиции можно разложить на компоненты, а для прогнозирования каждого компонента использовать авторегрессионное интегрированное скользящее среднее или ARIMA. Представлены основные функции и архитектура усовершенствованной инфраструктуры учета электроэнергии (ИУЭ), реализованной в виде интеллектуальной сети.

**Ключевые слова:** прогнозирование электропотребления, интеллектуальная сеть, инфраструктура учета электроэнергии.

Актуальной проблемой при производстве горнопроходческих работ является ограниченная возможность контроля электропотребления отдельными энергоемкими электроустановками, например, самоходной буровой установкой. Характерной особенностью работы этой установки является неравномерность и неопределенность режима электропотребления. По этой причине в ходе отработки рудного месторождения «Заполярный» довольно часто случаются простои в работе, связанные с нехваткой мощности, либо же просадкой напряжения при бурении скважин или шпуров. И это существенно отражается как на самой самоходной буровой установке, так и на подземной участковой понизительной подстанции. Результат - значительный экономический ущерб.

Шпуровую отбойку руды на шахте рудника «Заполярный» руды выполняют с помощью самоходной буровой установки от шведского производителя «Sandvik», характерной особенностью которой является неритмичность электропотребления. Буровая установка Sandvik DT922i осуществляет бурение множества различных скважин (скважины для обрушения пород кровли, скважины для отбойки руды) в процессе этажного принудительного обрушения с одностадийной (сплошной) выемкой руды. Она имеет следующие технические характеристики: напряжение 380 - 1 000 В ( $\pm 10\%$ ), частотой 50 - 60 Гц; общая потребляемая мощность 185 - 200 кВт; предусмотрен контроль качества электроэнергии (напряжение, сила тока, мощность, коэффициент мощности, энергия, очередность фаз); имеется интеллектуальное управление двигателем (контроль максимальной мощности).

Несмотря на довольно хорошие возможности системы контроля за электропитанием буровой установки, проблема повышения эффективности электропотребления из-за особенностей технологического процесса этажного принудительного обрушения в ходе отработки рудного месторождения «Заполярный» остается. Поэтому решение задачи совершенствования системы управления, контроля и оптимизации электропотребления шахтной самоходной буровой установкой остается востребованным.

Для решения данной задачи требуется в режиме реального времени производить оценку эффективности электропотребления самоходной установкой. А для дальнейшей оптимизации необходимо определить результативный метод прогнозирования, что позволит выполнять планирование и оперативное управление процессом

электропотребления данной установкой и в целом всего комплекса установок, задействованных в горнопроходческих работах.

Для оценки электропотребления в режиме реального времени оптимально использовать интеллектуальные счетчики, которые измеряют потребление энергии, контролируют ее качество и передают эту информацию концентратору или в облако для ее дальнейшего использования в управлении потреблением электроэнергии посредством перераспределения нагрузки. Процесс оптимизации электропотребления выполняется по определенному алгоритму на основе прогноза.

Проблема прогнозирования рассматривается в различных научных трудах. В частности, в исследованиях Решетняка С.Н. предлагается использовать в угольных шахтах формализованные методы прогнозирования электропотребления, т.к. их можно автоматизировать и исключить влияние субъективных факторов [1]. Объектом прогнозирования определены временные ряды электропотребления, которые представляют собой последовательность объемов электропотребления за последовательный интервал времени.

Вид функции временного ряда имеет следующий вид:

$$y_t = f(t) + S + C + \varepsilon(t)$$

где  $f(t)$  — тренд или детерминированная неслучайная компонента;

$S$  — сезонная составляющая;

$C$  — циклическая составляющая;

$\varepsilon(t)$  — стохастическая компонента процесса [1].

В других исследованиях сделаны выводы, что для прогнозирования электропотребления необходимо решить вопрос учета случайных воздействий на звенья технологической цепочки. При этом в результате воздействий формируются дисперсии системных характеристик. Далее определяются закономерности электропотребления в виде математических моделей, учитывающих влияние случайных воздействий. В основе лежит математическая теория случайных процессов, которая определяет переходы системы между ее состояниями под влиянием случайных воздействий [2, 3]. Математическая модель случайного процесса строится на основе определенного числа состояний системы и вероятности переходов системы между ее состояниями. Это позволяет в дальнейшем моделировать траектории случайного процесса, а также последовательность переходов системы между ее состояниями.

Для прогнозирования потребления электроэнергии в системах электроснабжения с постоянно изменяющейся нагрузкой требуется выполнить следующее:

изучить данные о потребляемой мощности (анализ характеристик);

определить закон внутреннего изменения ранее измеренных данных, а также взаимосвязь между ними и влияющими на них факторами;

спрогнозировать спрос на электроэнергию [4].

Данные о ежемесячном потреблении электроэнергии самоходной буровой установкой представляют собой временной ряд, на который обычно влияют различные факторы (например, крепость руды, трещиноватость массива, количество свободных поверхностей, мощность залежи). Поэтому такие временные ряды могут быть разложены на компоненты, которые представляют собой различные факторы влияния. Метод прогнозирования временных рядов, как правило основан на технологии декомпозиции, которая применяется во многих областях, включая спрос на электроэнергию [5]. Классическую модель декомпозиции можно использовать для разложения временного ряда на трендовый компонент и рудный компонент, а для прогнозирования каждого компонента использовать авторегрессионное интегрированное скользящее среднее или ARIMA. Для декомпозиции месячного ряда потребления электроэнергии, а также для создания различных моделей и прогнозирования каждого компонента можно использовать мультипликативную модель. Мультипликативная модель Х12 не только преодолевает недостатки классической модели декомпозиции (невозможно оценить значения тренда

нескольких выборок в начале и конце модели), но и имеет больше преимуществ для рядов, прогнозные свойства которых меняются со временем.

Для сбора информации о потребляемой мощности бурильной установкой в режиме реального времени необходимо создать усовершенствованную инфраструктуру учета электроэнергии (ИУЭ) в виде интеллектуальной сети с интегрированными в нее интеллектуальными счетчиками электроэнергии. До настоящего времени было предложено много идей и технологий по созданию ИУЭ. А наиболее признанными стандартами, удовлетворяющими требованиям ИУЭ, являются DLMS/COSEM (язык сообщений устройств/спецификация для учета энергии), которые приняты Международной Электротехнической комиссией (IEC) в рамках серии стандартов IEC 62056.

Первым шагом на пути к реализации интеллектуальной сети, обеспечивающей контроль и оптимизацию электропотребления шахтной самоходной буровой установкой, является создание усовершенствованной инфраструктуры учета (ИУЭ), которая будет обладать дополнительными интеллектуальными и коммуникационными возможностями по сравнению с существующими инфраструктурами. Т.к. все используемые в настоящее время коммуникационные стандарты и технологии, относящиеся к ИЭУ не обладают хорошо разработанным уровнем интеллекта, который бы полностью охватывал сферу применения smart grid.

С учетом того, что целью усовершенствованной ИУЭ является повышение уровня наблюдаемости и управляемости в электрической сети, питающей буровую установку, а вся инфраструктура должна поддерживать простоту, совместимость и масштабируемость, то основными функциями, которые должна будет поддерживать усовершенствованная система ИУЭ следующие:

- регистрация счетчиков для включения новых счетчиков в систему;
- удаленное программирование режимов и пр.;
- удаленное считывание показаний счетчиков (циклическое и по требованию) для целей прогнозирования и оптимизации режимов;
- удаленное отключение и повторное подключение электроэнергии потребителю в автоматическом режиме;
- синхронизация внутренних часов измерительного оборудования с общими часами системы;
- удаленное обновление микропрограммного обеспечения;
- управление тревогами и событиями через систему;
- удаленный доступ к другим элементам системы (кроме счетчиков);
- удаленное программирование и сбор профиля нагрузки для управления электроэнергией;
- автоматическая адаптация к изменениям в сети;
- управление нагрузкой и энергетическим балансом посредством активации /деактивации режима управления электрической мощностью по показаниям на счетчиках;
- управление качеством электроэнергии.

#### *Основные компоненты системы ИУЭ*

1. Модуль «Счетчик электроэнергии + коммуникационный концентратор» или интеллектуальный счетчик.

Модуль выполняет две основные функции. Во-первых измеряет и записывает значения потребленной электроэнергии и соответствующие параметры, представляющие интерес, и, во-вторых, действует как коммуникационный узел. Модулей может быть несколько. Интеллектуальный счетчик выполняет обе функции учета и связи. Коммуникационный узел может быть напрямую подключен к Центральной системе или может быть подключен через концентратор данных. В любом из этих случаев

коммуникационный узел может работать в двух различных режимах - как шлюз или как прокси-шлюз.

## 2. Блок концентратора данных (Data Concentrator Unit).

Этот модуль действует как промежуточный элемент между узлом связи и центральной системой. Коммуникационный концентратор может быть напрямую подключен к центральной системе, однако это может быть не всегда эффективно, особенно в конце распределительной сети. В таком сценарии несколько узлов связи может быть подключено к одному блоку концентратора данных (DCU). Функция DCU заключается в управлении двусторонним обменом данными. Он будет собирать и управлять информацией, полученной от различных счетчиков электроэнергии и узла связи, и отправлять ее в Центральную систему, а также будет передавать команды, полученные от Центральной системы на счетчик электроэнергии и узел связи. Аналогично узлу связи, DCU может функционировать в качестве прокси-шлюза. Он также может поддерживать возможность локального интерфейса для локального доступа к данным. Кроме того, он может опционно подавать данные в другие системы, кроме центральной системы, например, в сети SCADA.

## 3. Центральная система.

Центральная система действует в качестве центрального сервера, отвечающего за управление всей информацией и данными, связанными с интеллектуальным учетом. Она также отвечает за конфигурацию и управление всеми компонентами системы и реагирование на все события и сигналы тревоги по сети. Центральная система может делегировать часть своих операций DCU или коммуникационному концентратору, т.е. некоторые операции могут выполняться на более низком уровне в иерархической структуре.

## 4. Местные устройства эксплуатации и обслуживания и внешние устройства.

Это портативные устройства, используемые оперативным персоналом для локальной настройки, эксплуатации и обслуживания различных элементов сети. К средствам локальной эксплуатации и технического обслуживания относятся счетчики электроэнергии, узлы связи и DCU. Возможность локального обслуживания и эксплуатации необходима во время установки и позже для выполнения обслуживания или изменения конфигурации, если это невозможно сделать удаленно с помощью центральной системы. Средства эксплуатационно-технического обслуживания также могут помочь получить данные со счетчика в качестве резервной меры в случае устойчивого сбоя связи.

Внешние устройства относятся к вспомогательному оборудованию, которое может быть опционно подключено к DCU и служат для поддержки целей ИУЭ. Примером такого устройства является система SCADA или другая подобная система, связанная с автоматизацией подстанции.

Предложенные в статье идеи, направленные на решение задачи совершенствования системы управления, контроля и оптимизации электропотребления шахтной самоходной буровой установкой, являются основой для разработки эффективной системы прогнозирования и для моделирования ее рабочего цикла. А рассмотренные основные функции и архитектура инфраструктуры учета электроэнергии ИУЭ являются наиболее близким текущим решением по формированию интеллектуальной сети, целью которой является повышение эффективности электропотребления в условиях нормальной эксплуатации самоходной буровой установки.

## Литература

1. Решетняк С. Н. Анализ методов построения прогнозных моделей электропотребления в условиях высокопроизводительных угольных // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-postroeniya-prognoznyh-modeley-elektropotrebleniya-v-usloviyah-vysokoproizvoditelnyh-ugolnyh-shaht> (дата обращения: 08.02.2022).
2. Draper N. R., Smith H. Applied Regression Analysis. – New York: John Wiley & Sons. – 1998.– 706 p.
3. Dougherty K. Introduction to econometrics. – Oxford: Oxford university press.–2001.– 608 p.
4. Li X. Research on regional power on forecasting method based on ARIMA model and regression analysis.– Nanjing, China: Nanjing University of Science and Technology. – 2013.– 342 p.
5. Long Y., Su Z., Gai X. Monthly load forecasting using component decomposition method. China: Proceedings of the CSU-EPSCA. vol. 29. № 5,– 2017.– pp. 35–40.
6. Wu W., Zhang W., Yang Y. Time series analysis for bug number prediction. China: Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering and Data Mining. June 2010.– pp. 589–596.

УДК 624.121.532

## СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГОРНОГО МАССИВА В ПРОЦЕССЕ ВЕДЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ МЕТОДОМ СЕЙСМОЗОНДИРОВАНИЯ

Шнайдер И. В.<sup>1</sup>, Абдрахманов М. И.<sup>2</sup>, Лапин С. Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,  
<sup>2</sup>ООО «ИНГОРТЕХ»

**Аннотация.** Ведение проходческих работ сложная и затратная процедура. Оценка структуры и параметров горного массива по цифровой модели, составленной по сейсмическим данным, обеспечивает безопасность и высокую эффективность ведения подземных работ. Сейсмическое зондирование позволяет составить цифровые модели для оценки структуры и параметров горного массива на дистанции до 200 метров.

**Ключевые слова:** Зондирование, подземные работы, автоматическая обработка сейсмоданных, цифровая модель горного массива, проходческие работы.

Ведение проходческих работ, как одна из наиболее сложных и затратных процедур, зачастую производится в отсутствии какой-либо информации о структуре и свойствах горного массива за грудью забоя. Устаревшие геологические разрезы и данные разведочных скважин, выполненные с поверхности, не дают полной картины, а зачастую отсутствуют вовсе. С учетом возросшего темпа ведения проходческих работ информация должна быть актуальной, а дальность оценки составлять не менее 70 метров по направлению трассы строящейся горной выработки.

Преимущества сейсмических методов, по сути являющихся методами неразрушающего дистанционного контроля структуры и параметров горного массива, позволяющих уточнять местоположение геологических неопределенностей, а при наработке критериев и опыта, успешно интерпретировать и идентифицировать их, способствуют широкому распространению сейсмических методов, в том числе, в условиях подземных выработок шахт и рудников опасных по газу и пыли. Учитывая особенности ведения подземных работ (доступ к исследуемой части массива только с одной стороны, малые сечения выработок, наличие взрывоопасных газов в атмосфере, отсутствие точек подключения электропитания и сложность, а иногда невозможность, применения взрывных источников возбуждения волны и др.), наиболее подходящим вариантом является метод сейсмического зондирования, когда сейсмоприемники размещаются на небольшой площади (груди забоя, борту или почве), а упругая волна возбуждается точечным ударным (взрывным) источником. Отраженные волны регистрируются сейсмоприемниками, установленными в шпуровые отверстия в горном массиве. Следует отметить, что при применении всенаправленных геофонов, направление зондирования может быть различным, а угол установки продиктован техническими ограничениями буровых станков.

Приняв во внимание вышеописанные особенности производства работ, а также имея в распоряжении развитую техническую базу, компания ООО «Сибгеофизприбор» (г. Новосибирск), по заказу ООО «ИНГОРТЕХ» (г. Екатеринбург) [1] под научным руководством специалистов кафедры «Геоинформатика» Уральского государственного горного университета [2, 3] разработали и наладили серийный выпуск системы локального, текущего и регионального контроля и прогноза состояния горного массива «Микон-ГЕО». На рисунке 1 приведено изображение мобильного комплекса системы «Микон-ГЕО», сертифицированного для проведения сейсмического зондирования в условиях шахт и рудников опасных по газу и пыли.



Рис. 1. Изображение мобильного комплекса системы «Микон-ГЕО»

Источник упругих волн импульсного типа: кувалда или взрывчатое вещество, позволяют обеспечить дальность обзора до 200 метров, в зависимости от типа горных пород, составляющих массив и структурных нарушений, ослабляющих сигнал. Сейсмоприемники размещаются в два ряда по четыре датчика на груди забоя или в один ряд на левом и правом бортах выработки (если доступ к забою затруднен), если необходимо исследовать структуру и параметры горного массива в направлении проектной трассы строящейся выработки.

После выполнения процесса сбора сейсмоданных производится обработка и визуализация модели в специализированном программном обеспечении.

Результатом обработки являются цифровые трехмерные модели исследуемой области горного массива (50 x 100 x 200 метров) в изображении следующих параметров:

- уровень разуплотнения  $D$ , усл. ед.;
- вероятность водопроявления  $W$ , %;
- расчетная скорость продольной волны  $V_p$ , м/с;
- расчетная скорость поперечной волны  $V_s$ , м/с;
- динамический модуль Юнга, ГПа;
- коэффициент Пуассона, без размерности;
- относительная категория устойчивости, без размерности.

Параметр «Уровень разуплотнения» позволяет определить местоположение зон разуплотнения (нарушения сплошности) в горном массиве, которые в дальнейшем могут быть интерпретированы определенным образом. Данный параметр является авторской разработкой профессора Писецкого В. Б. [4] и учитывает в определенных соотношениях амплитуду и частоту отраженного сигнала. По сути, этот параметр позволяет обнаруживать зоны разуплотнения и давать им качественную оценку. Так на угольной шахте, на расстоянии 62 м от груди забоя на момент зондирования была спрогнозирована трещиноватая зона, заполненная метаном, а на интервале 82 – 95 м – плоскость тектонического нарушения (рис. 2), заверенные фактом проходческих работ.

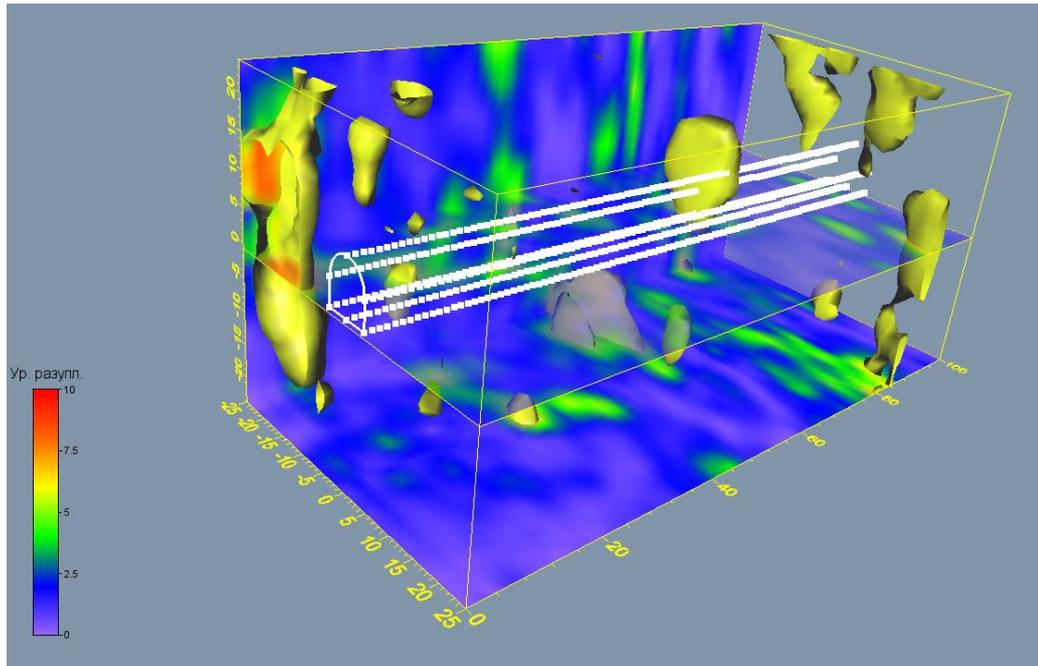


Рис. 2. Пример трехмерной модели массива в изображении параметра «Уровень разуплотнения (D, усл. ед)»

Параметр «Вероятность водопроявления» позволяет определить местоположение и саму вероятность нахождения водонасыщенных зон в области исследования (рис. 3). Данный параметр сыграл ключевую роль в поиске источника обильного водопритока на одном из рудников Норильского никеля. Впоследствии, указанная область была затампонирована и водоприток в подземные выработки из этой области прекратился.

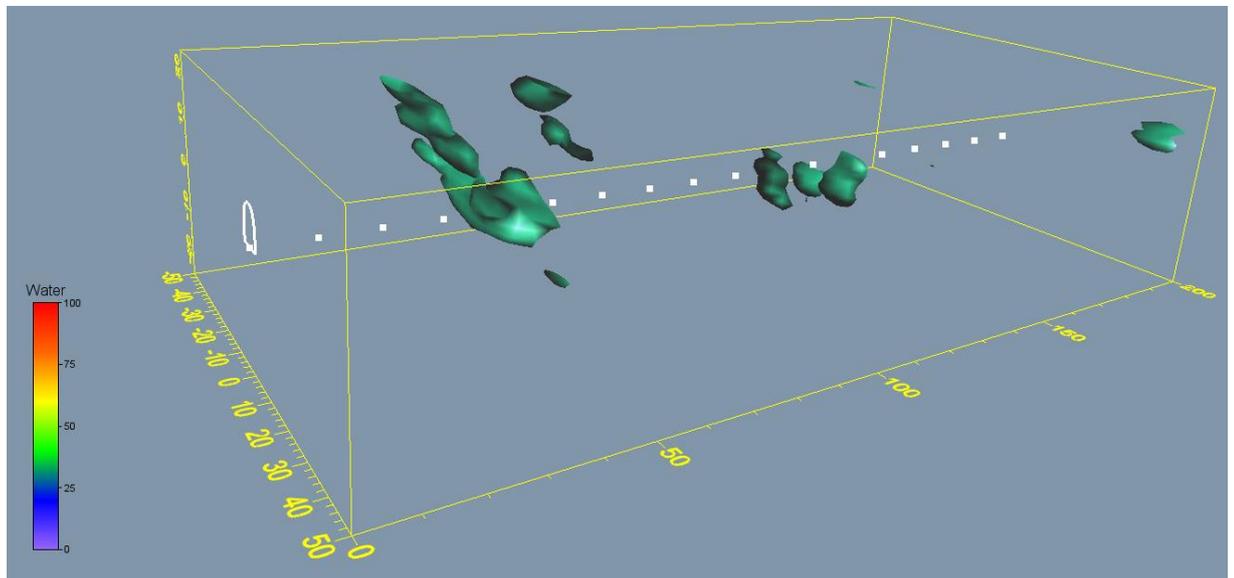


Рис. 3. Пример трехмерной модели массива в изображении параметра «Вероятность водопроявления (W, %)»

Цифровые модели исследуемой области горного массива в изображении других вышеописанных параметров уточняют и детализируют интерпретацию полученных данных и позволяют сделать вывод о структуре и свойствах горного массива в направлении проектной оси строящейся выработки и принять соответствующие меры по обеспечению безопасности ведения подземных горных работ.

### Список литературы

1. Ссылка на сайт ООО «Ингортех» с описанием системы «Микон-ГЕО»: ёёёёё  
1эhttps://www.ingortech.ru/system/tekushhij-prognoz-dynamicheskikh-yavlenij/
2. Писецкий В.Б., Лапин С.Э., Зудилин А.Э., Патрушев Ю.В., Шнайдер И.В. Методика и результаты промышленного применения системы сейсмического контроля состояния горного массива “Микон-ГЕО” в процессе подземной разработки рудных и угольных месторождений//Проблемы недропользования. – 2016. - С. 58 – 64.
3. Лапин Э. С., Писецкий В. Б., Бабенко А. Г., Патрушев Ю. В. “Микон-ГЕО” - система оперативного обнаружения и контроля состояния зон развития опасных геогазодинамических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом // Безопасность труда в промышленности. – 2012. - № 4. – С. 18-22.
4. Патент [электронный ресурс] – режим доступа:  
<https://patents.google.com/patent/US6498989>.

### Сведения об авторах

Абдрахманов Марат Ильдусович<sup>1</sup> – кандидат технических наук, главный специалист, ООО «Ингортех», E-mail: [marat-ab@mail.ru](mailto:marat-ab@mail.ru),

Лапин Сергей Эдуардович<sup>2</sup> - кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «УГГУ», E-mail: [sergei.l@bk.ru](mailto:sergei.l@bk.ru)

Шнайдер Иван Владимирович<sup>2</sup> – аспирант, ФГБОУ ВО «УГГУ»,

E-mail: [ivan-shnajder@yandex.ru](mailto:ivan-shnajder@yandex.ru), тел.: +79221066506

<sup>1</sup>ООО «Информационные горные технологии», Екатеринбург, Россия  
620144, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, д. 100 (почтовый адрес: 620144,  
г. Екатеринбург, а/я 64), Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Для контактов: Шнайдер И. В.

УДК 622.7

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Усков К.А., Молчанов М.В., Таланкин Н.Н., Макаров Н.В.  
ФГБОУ ВО «Уральский Государственный Горный Университет»

**Аннотация.** На основании теоретических и практических исследований предложена методика проектирования высокоэффективных аэродинамических схем вентиляторных установок для аппаратов воздушного охлаждения газа для работы на компрессорных станциях магистральных трубопроводов с максимальными значениями КПД при установленных значениях удельной быстроходности, аэродинамического качества профилей рабочего колеса, коэффициента аэродинамического сопротивления проточной части и коэффициента расходной скорости.

**Ключевые слова.** Вентиляторная установка, вентилятор, экономичность, аппараты воздушного охлаждения, аэродинамическая схема, удельная быстроходность.

На сегодняшний день определяющую роль в развитии топливно-энергетического комплекса и газовой отрасли РФ занимает вопрос энергоэффективности. На большинстве предприятий в странах СНГ эксплуатируются вентиляционные системы для охлаждения транспортируемой среды на компрессорных станциях магистральных трубопроводов, основным звеном которых являются аппараты воздушного охлаждения (АВО), построенные по устаревшим схемам, которые были разработаны 50–60 лет назад и обладающие более низким КПД по сравнению с зарубежными аналогами.

Это привело к тому, что удельная энергоемкость российских магистральных газопроводов (МГ) на 15–30 % выше зарубежных.

Важным элементом МГ является система охлаждения транспортируемой среды, которая позволяет повысить его надежность и снизить эксплуатационные затраты. При понижении температуры газа пропускная способность газопровода увеличивается. Для охлаждения потока транспортируемого газа наибольшее распространение в эксплуатации на КС получили аппараты воздушного охлаждения. Эти аппараты обладают рядом достоинств перед другими типами теплообменных аппаратов. АВО не требуют предварительной подготовки теплоносителей, экологически чисты, просты и надежны в эксплуатации.

В процессе эксплуатации данных аппаратов происходит изменение перепадов давлений, градиентов температур, скоростей движения теплоносителей, что вызывает рост энергозатрат, особенно при плохом техническом состоянии АВО и в условиях постоянного роста требований к эффективности функционирования аппаратов.

Основными узлами АВО являются: секции орбренных теплообменных труб (ТВО), вентиляторы, электропривод, воздухопроводы и жалюзи для регулирования расхода, опорная металлоконструкция, устройства регулирования.

Используемые в АВО вентиляторы выполнены по аэродинамической схеме К с одним рабочим колесом без спрямляющего аппарата. Из-за этого поток охлаждающего воздуха за рабочим колесом имеет существенную остаточную закрутку, т. е. циркуляцию. Циркуляционный поток, движущийся по спирали, поступает на вход в теплообменную секцию с большими разбросами углов рассогласования, что приводит к существенному **росту расхода энергии для перемещения охлаждающего воздуха, т. е. снижению энтальпии охлаждаемого газа.**

Для установления зависимости экономичности вентиляторной установки от ее удельной быстроходности, т. е. энергией охлаждения воздуха в расчете на единицу его расхода, примем в качестве критерия ее аэродинамический КПД –  $\eta_y$ . Для построения зависимости аэродинамического коэффициента полезного действия вентиляторов и вентиляторных установок от удельной быстроходности запишем уравнение, определяющее закономерность его изменения в зависимости от ее удельной быстроходности, коэффициента аэродинамического сопротивления проточной части и остаточной циркуляции в виде:

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi_2}{rk} - \frac{r}{\varphi_2 k} - \frac{182,7}{n_y^3} \ln \frac{v}{1-v^2} \cdot \varphi_2^{\frac{2}{3}} - 1,37 \cdot 10^{-3} \cdot n_y^{\frac{4}{3}} \cdot \xi_y \cdot \varphi_2^{\frac{4}{3}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_2$  – коэффициент скорости на выходе из вентиляторной установки;  $k$  – коэффициент аэродинамического качества профилей лопаток рабочего колеса;  $r$  – средний лопаток рабочего колеса;  $v$  – втулочное отношение рабочего колеса;  $n_y$  – удельная быстроходность,  $\xi_y$  – коэффициент аэродинамического сопротивления проточной части.

Исходя из анализа формулы (1) видно, что с увеличением удельной быстроходности вентиляторной установки растет негативное влияние аэродинамического сопротивления ее проточной части на КПД, так как уменьшается удельная потенциальная энергия перемещаемого воздуха. Для обеспечения экономичности вентиляторных установок, используемых для АВО, необходимо как можно больше повышать аэродинамическое качество профилей лопаток рабочих колес и снижать аэродинамическое сопротивление элементов проточной части.

Уравнение для коэффициента полезного действия вентиляторной установки с входным направляющим аппаратом (ВНА) и спрямляющим аппаратом (СА):

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi}{rk} - \frac{\varphi n_1}{rk_B} - \frac{\varphi(n_1+1)(n_2-1)}{rk_C} - \frac{1}{r\varphi k} \left[ r - 182,7 \frac{(1+2n_1)\varphi^{\frac{2}{3}}}{rn_y^{\frac{4}{3}}} \right]^2 - 33,11^4 \frac{n_1^{\frac{1}{3}}\varphi^{\frac{1}{3}}}{r^3 k_B n_y^{\frac{8}{3}}} \left[ \frac{(n_1+1)(n_2+1)\varphi^{\frac{2}{3}}}{rn_y^{\frac{4}{3}}} \right]^2 - 365,5 \ln \frac{v}{1-v^2} n_2^2 (n_1+1) \frac{\varphi^{\frac{2}{3}}}{n_y^{\frac{4}{3}}} - 4,11 \cdot 10^{-3} \xi_y n_y^{\frac{4}{3}} \varphi^{\frac{4}{3}}, \quad (2)$$

где  $k_B, k_C$  – коэффициенты аэродинамического качества профилей ВНА и СА;  $n_1, n_2$  – коэффициенты циркуляции ВНА и СА.

Выражение для КПД вентиляторной установки с для установления зависимости аэродинамического коэффициента полезного действия от коэффициента расходной скорости:

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi_2^2 - \varphi_{2opt}^2}{\varphi_2 \cdot \kappa} - 365,5 \ln \left( \frac{v}{(1-v^2)} \cdot \frac{\varphi_2^{2/3}}{n_y^{4/3}} - 1,37 \cdot 10^{-3} \varepsilon_y n_y^{4/3} \varphi_2^{4/3} \right) \quad (3)$$

где  $\varphi_{2opt}$  – коэффициент оптимальной расходной скорости, который соответствует максимальному КПД вентиляторной установки.

Из формулы (2) видно, что при росте подачи охлаждающего воздуха, то есть росте коэффициента расходной скорости  $\varphi_2$  КПД вентиляторной установки уменьшается.

Уравнения для получения максимального КПД вентиляторной установки:

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi_2^2 - \varphi_{2opt}^2}{\varphi_2 \cdot \kappa} - 365,5 \ln \left( \frac{v}{(1-v^2)} \cdot \frac{\varphi_2^{2/3}}{n_y^{4/3}} - 1,37 \cdot 10^{-3} \varepsilon_y n_y^{4/3} \varphi_2^{4/3} \right) \quad (4)$$

Исходя из анализа формулы (4) можно сделать утверждение о том, что изменение коэффициента расходной скорости  $\varphi_2$  в большей степени влияет на экономичность вентиляторной установки, при этом не оказывая значительного влияния на КПД вентилятора. Данное явление обусловлено тем, что при увеличении подачи охлаждающего воздуха существенно возрастают потери динамического давления в проточной части вентиляторной установки.

Соответственно, для вентиляторной установки падение КПД  $\Delta\eta_y$  будет более весомым с ростом аэродинамического сопротивления проточной части  $\xi_y$  и удельной быстроходности  $n_y$ , чем для вентилятора.

Из анализа рис. 4 и формулы (1), в которой коэффициент аэродинамического сопротивления проточной части вентилятора  $\xi_y = 0$ , можно сделать вывод о росте удельной быстроходности вентилятора и снижении его коэффициента давления для достижения высокого КПД. Требуется повышать аэродинамическое качество профилей лопаток рабочих колес.

Таким образом, при конструировании и проектировании вентиляторных установок для АВО следует уделять особое внимание связям кинематических и геометрических параметров с их экономичностью. Большее оптимальное значение удельной быстроходности вентиляторной установки актуализирует требование к профилированию лопаток рабочих колес, повышению коэффициента их аэродинамического качества. Профили лопаток рабочих колес должны обеспечивать ламинарное безотрывное течение воздуха по аналогии с крылом птицы. Остаточная закрутка потока на выходе из вентиляторной установки снижает ее экономичность за счет потерь динамического давления и в то же время способствует турбулизации потока воздуха, поступающего на теплообменник воздушного охлаждения АВО в определенном диапазоне, повышая коэффициент теплоотдачи, зависящий от критерия Нуссельта, т. е. аэротермическую экономичность АВО.

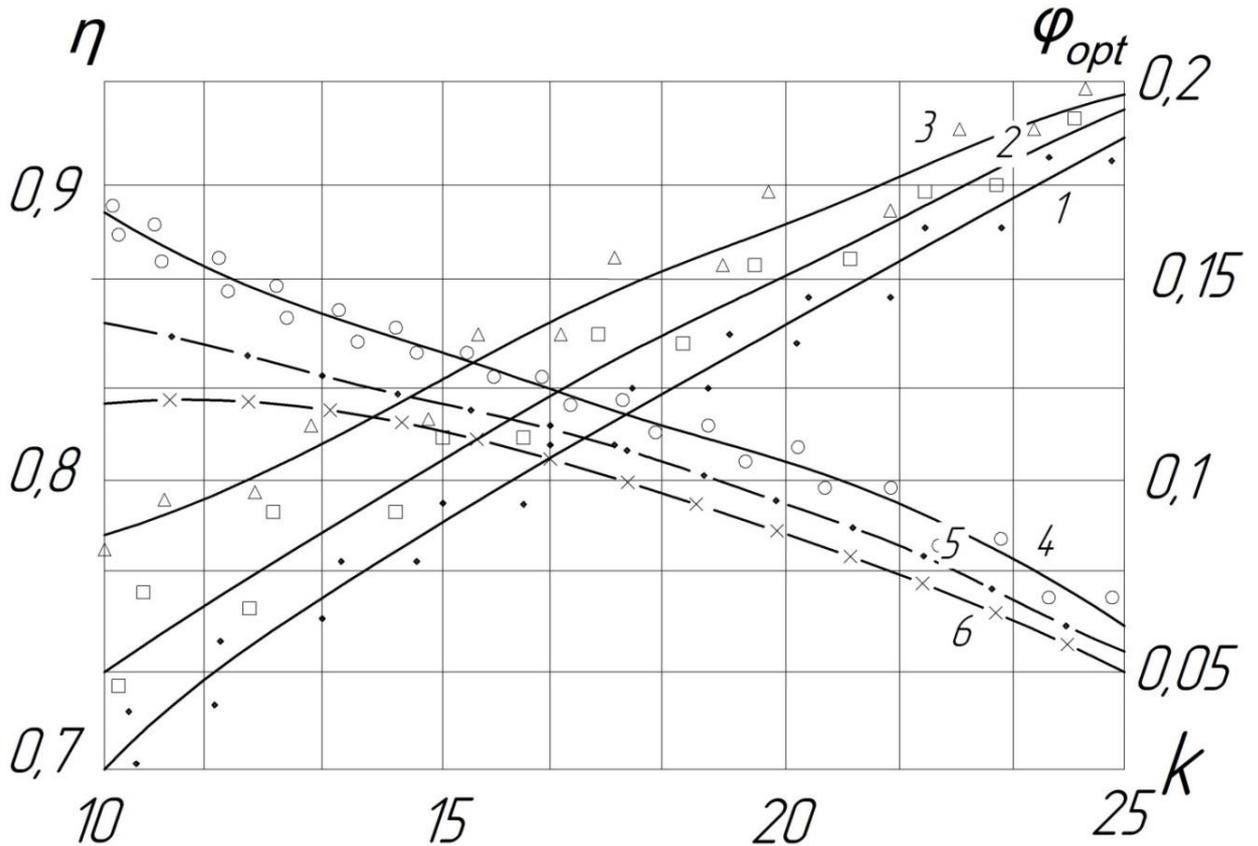


Рис. 1. Зависимость оптимального расхода вентилятора и КПД от коэффициента качества профилей лопаток рабочего колеса вентиляторной установки.

Для повышения экономичности и надежности вентиляторных установок для АВО необходимо добиваться максимально возможного аэродинамического качества элементов проточной части вентиляторной установки: диффузора, коллектора, кока. С учетом нелинейности отношения критерия Нуссельта к критерию Эйлера существует оптимальная остаточная циркуляция, при которой прирост теплоотдачи от турбулизации охлаждающего воздушного потока растет быстрее, чем гидравлическое сопротивление теплообменника воздушного охлаждения. Доказано более существенное повышение аэродинамического коэффициента полезного действия вентиляторных установок большой удельной быстроходности по отношению к вентиляторам малой быстроходности при снижении коэффициента аэродинамического сопротивления их проточной части.

С использованием предложенной в данной статье методики проектирования вентиляторных установок в аппаратах воздушного охлаждения путем улучшения аэродинамического качества профилей за счет оптимизации тангенциального и осевого навалов переменной циркуляции, т. е. откорректированного закона закрутки лопаток по радиусу, ламинарной формы конфузора в виде кривых Безье четвертого порядка можно строить высокоэффективные аэродинамические схемы вентиляторных установок.

#### Список литературы

1. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчет осевых вентиляторов. – М.: Машиностроение, 1986 г. 288 с.
2. Рубцова, И. Е. Основные направления и задачи энергосбережения при реконструкции КС. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования

компрессорных станций: монография / И. Е. Рубцова, Д. С. Мочалин, О. В. Крюков; под ред. О. В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС. 2012 Т. 3. – 572 с.

3. Мигачев А. А., Потемкин В. А., Степашкин И. П. Параметрическая идентификация аппарата воздушного охлаждения газа как объекта управления // Материала VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук». Новосибирск: ООО «ЦРСНИ». 2016. С. 23-28.

4. Лифанов А. В., Матеров А. Ю., Макаров В. Н., Серков С. А., Макаров Н. В. Перспективные направления повышения комплексной эффективности аппаратов воздушного охлаждения. Нефть. Газ. Новации. 2020. №4 (233). С. 14–17.

5. И.А. Мутугуллина. Устройство и расчет аппаратов воздушного охлаждения (АВО): учебное пособие. - Бугульма: 2017. – 80 с.