

В 1998 г. была разработана концепция создания и эксплуатации региональной системы геодинамического мониторинга на основе наблюдений за ГГД полем и другими геофизическими параметрами в Российской Федерации для целей прогноза сильных землетрясений. Научные положения этой концепции и результаты 10–15-летних наблюдений за геодинамическим режимом подземных вод в сейсмоактивных регионах были положены в основу «Методических указаний по ведению ГГД мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R–STEPS)», согласованных с МЧС России и в 2000 г. утвержденных МПР России (2000 г.). Этот нормативный документ обеспечил ведение наблюдений по единой программе и методике во всех сейсмоактивных регионах, определил роль и место ГГД мониторинга в Федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Разработанная технология ГГД мониторинга была признана патентными службами России, США, Евросоюза, Японии, Греции и других стран.

В настоящее время ГГД мониторинг эндогенных процессов представляет собой высокотехнологичный автоматизированный раздел ГМСН. Мониторинг выполняется на региональном и на федеральном уровнях. ФГУП «ВСЕГИНГЕО» регулярно составляет ежедекадные и ежемесячные бюллетени с оценкой сейсмической опасности и прогнозами сильных землетрясений, которые направляет в Федеральное агентство по недропользованию, МЧС РФ (ВНИИ ГОЧС) и Российский экспертный совет по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска РАН и МЧС РФ.

На региональном уровне исследователями получены интересные материалы по комплексированию гидрогеодинамических и геофизических методов. В.К. Стажило-

Алексеев (ФГУПП «Гидроспецгеология») и В.Г. Сибгатуллин (НП «ЭЦ РОПР») на основе комплексной обработки данных добились качественно нового уровня оценки и прогнозирования сейсмогеодинамических процессов. Значительных успехов в комплексной обработке мониторинга эндогенных процессов на Северном Кавказе, особенно на Сочинском полигоне, добился коллектив под руководством Д.Н. Забирченко (ОАО «Кавказгеолъсъемка»).

Востребованность ГГД мониторинга ярко проявилась при подготовке и проведении Зимних Олимпийских Игр в Сочи. Данные мониторинга эндогенных процессов на Сочинском полигоне стали одним из основных источников оперативной информации о геодинамическом состоянии территории. Опыт создания и эксплуатации Сочинского полигона выявил насущную потребность создания методики ГГД мониторинга на сельских территориях для обеспечения информационно-геологической основы оценки состояния и прогноза развития опасных геологических процессов густо заселенных и промышленно нагруженных территорий.

На опытно-производственных полигонах ВСЕГИНГЕО (Верхне-Кубанский, Марре-Сале) отработываются новые технологии мониторинга опасных геологических процессов как для условий сейсмоопасных регионов, так и для криолитозоны.

*В подготовке статьи принимали участие: Барон В.А., Плотникова Р.И., Лукьянчикова Л.Г., Молодых И.И., Крестин Б.М., Гарифулин В.А., Дубровин В.А.*

© Круподеров В.С., Лукьянчиков В.М., Орфаниди Е.К., 2016

*Круподеров Владимир Степанович // vsegingeo@bk.ru  
Лукьянчиков Валерий Михайлович // lvml@mail.ru  
Орфаниди Елена Константиновна // lorfanidi@rambler.ru*

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 550.3 + 620

**Соловьев Н.В., Романов В.В., Мальский К.С.**  
(МГРИ–РГГРУ)

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕО- ЛОГОРАЗВЕДЧНЫХ РАБОТ

*Работа посвящена актуальной проблеме изучения состояния действующих и законсервированных геологоразведочных выработок методами геофизики — георадиолокации и сейсморазведки. Отмечена высокая эффективность георадиолокационных исследований при изучении затопленных участков выработок, недоступных прямому обследованию. Проанализированы спектры Накамуры слабых микросейсмических волн и волн от массовых промышленных взрывов. **Ключевые слова:** инженерная сейсморазведка, геологоразведочные выработки, инженерная электроразведка, георадиолокация, бурение, скважина.*

Soloviev N.V., Romanov V.V., Malskiy K.S. (MGRI–RGGRU)  
THE MAIN DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF  
TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SUPPORT OF  
EXPLORATION WORK

*The work is devoted to an actual problem of studying the state of active and abandoned mining geophysics methods — GRP and seismic. The high efficiency of GRP research in the study of the workings flooded areas that are inaccessible to direct examination. Nakamura spectra were analyzed weak microseismic waves and waves of mass industrial explosions. **Key words:** geophysical methods, near-surface seismic, mining, near-surface electric prospecting, GRP, drilling, well.*

Технико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ является одним из основных элементов эффективности системы недропользования, позволяющей планомерно и целенаправленно проводить изучение земных недр с целью получения устойчивого необходимого прироста запасов полезных ископаемых.

В последние годы нашли широкое распространение высокопроизводительные, энергосберегающие, обладающие повышенной геологической информативностью отечественные технологии бурения: с непрерывным гидротранспортом керна, применением съемных керноприемников в сложных геолого-технических условиях в глубоких скважинах, ударно-импульсная с применением гидроударных забойных машин, пенетрационный каротаж с непрерывным получением инженерно-геологической информации по беспроводному каналу связи.

Находят все большее применение геофизические методы изучения земной коры с целью получения геологической информации об условиях залегания месторождений, позволяющей целенаправленно и эффективно внедрять горно-буровые технологии при проведении различных стадий геологоразведочных работ и добыче полезных ископаемых.

При производстве геологоразведочных работ необходимо особое внимание уделять повышению эффективности эксплуатации энергосистем за счет экономии топливно-энергетических ресурсов, позволяющей более рационально их использовать путем применения экономически обоснованных технико-технологических мероприятий, снижающих потребление энергоресурсов и исключающих необоснованный расход природного энергетического потенциала при строгом соблюдении требований охраны окружающей среды от загрязнения в процессе выработки и использования энергии [6].

В процессе проведения геологоразведочных работ в качестве основных направлений в области энергосбережения и охраны природы могут быть выделены:

- оптимизация энергообеспечения геологоразведочных работ;
- использование вторичных энергоресурсов;
- изыскание и использование нетрадиционных энергисточников;
- модернизация энергетического оборудования и замена устаревших конструкций на современные;
- совершенствование и внедрение новых, менее энергоемких технологий;
- совершенствование систем электроснабжения.

Оптимизация энергообеспечения предусматривает комплексное решение вопросов энерго- и теплоснабжения в соответствии с условиями и масштабами производимых работ.

Использование вторичных энергоресурсов предусматривает не только утилизацию тепла высокотемпературных энергоносителей (выхлопных газов), но и отбор тепла из низкотемпературных систем с применением тепловых насосов.

Возможность использования нетрадиционных энергисточников актуальна в связи с возобновляемостью энергоресурсов (ветроагрегаты, микроГЭС, гелиоустановки) и экологической чистотой. Однако область применения пока ограничена и капиталовложения довольно высоки, что не позволит в обозримом будущем сыграть им значительную роль в энергосбережении.

Модернизация оборудования, замена устаревшего, совершенствование технологий несут в себе высокий

потенциал энергосбережения. Вопросы совершенствования электроснабжения должны решаться за счет реализации типовых схем электроснабжения потребителей электроэнергии и использования элементов автоматизированного управления основными технологическими процессами при проведении различных видов геологоразведочных работ.

Роль технико-технологического обеспечения геологоразведочных работ определяется в первую очередь применением прогрессивных базовых технологий бурения, эффективностью их проведения, производительностью труда, культурой в целом геологоразведочного производства, а также его качеством — достоверностью геологической информации буровых работ.

Оценить результаты технико-технологического перевооружения буровых геологоразведочных работ можно через анализ прогнозных и фактических объемов бурения геологоразведочных скважин по их глубинам [14]: до 100 м — 35–40 %, до 300 м — 15–18 %, до 500 м — 20–23 %, 800 м и более — 15–20 %. Кроме того значительный объем бурения таких скважин осуществляется в труднодоступных условиях — до 55–60 % в горно-таежной местности, в горных районах — 25–30 %, в заболоченных районах тундры и тайги — 10–20 %. Эти прогнозные оценки необходимо учитывать при разработке транспортной базы буровых установок и возможности их доставки, монтажа и демонтажа в труднодоступных условиях местности.

Нами проведен анализ состояния технико-технологического обеспечения геологоразведочных работ, в результате которого сделаны следующие обобщения:

1. Машиностроительные предприятия и компании, занимающиеся выпуском буровой геологоразведочной техники, оторваны от основных потенциальных потребителей их продукции — геологоразведочных предприятий. Это затрудняет целенаправленное совершенствование конструктивных параметров и технологических характеристик выпускаемой буровой техники, позволяющей реализовать эффективные технологии бурения скважин.

2. Отсутствует координирующий орган, позволяющий привести в соответствие объемы производимой продукции с потребностями предприятий, осуществляющих разработку и внедрение эффективных геологоразведочных технологий с применением буровой техники.

3. Неуправляемость ценовой политики предприятий-производителей буровой техники, отсутствие необходимой сбалансированности между ценами на продукцию и ее надежностью, эксплуатационными характеристиками этой техники, возможностями и практикой сервисного обслуживания.

4. Недостаточность информации о технико-технологических параметрах выпускаемого оборудования и инструмента с учетом сравнительных оценочных работ по исследованию их надежности и показателей качества из-за отсутствия технологической исследовательской цепочки между заводом-изготовителем и предприятиями, внедряющими буровую технику.

Проведенный анализ потенциальных возможностей отечественных компаний и предприятий, которые за-

няли на рынке буровых технологий лидирующее положение, позволил установить ряд динамично развивающихся базовых предприятий бурового машиностроения, освоивших технологические разработки и выпуск эффективной буровой техники, позволяющей внедрять высокоэффективные технологии на различных стадиях геологоразведочных работ [14].

Для удовлетворения потребностей геологоразведочных предприятий в компактных мобильных буровых комплексах, имеющих высокие эксплуатационные и технико-экономические показатели, в ФГУП «Урангео» разработана буровая установка для бурения поисковых и геологоразведочных скважин в труднодоступных условиях. Возможно осуществление процесса бурения с использованием алмазного и твердосплавного породоразрушающего инструмента, а также бурения бескернового и с применением снарядов ССК.

Учитывая суровые природно-климатические условия Крайнего Севера, подразделением АК «Алроса» совместно с ООО ГПО «Росстехгео» разработана буровая установка УБ-3,5М, а на заводе ОАО «Алтайгеомаш» выпущена ее опытно-промышленная партия. Буровая установка УБ-3,5М предназначена для бурения вертикальных геологоразведочных скважин глубиной до 500 м колонковым способом в породах V–X категорий по буримости, перемежающихся по твердости, при средней абразивности пород. Для бурения могут использоваться бурильные трубы диаметров 42, 50, 63,5 мм. Развинчивание и свинчивание бурильных труб осуществляется трубооборотом РТ-1200. Поднятые бурильные трубы устанавливаются в подсвечнике вертикально.

На сегодняшний день можно выделить основные тенденции в совершенствовании и повышении эффективности базовых технологий бурения геологоразведочных скважин:

1. Отечественное буровое машиностроение отошло от создания универсальных по условиям применения и решаемым задачам геологоразведочного производства буровых установок, комплексов и сконцентрировалось на более успешной реализации высокоэффективных технологий бурения скважин в конкретных природно-климатических условиях с учетом геолого-технологических условий и особенностей геологического строения конкретных месторождений полезных ископаемых.

2. Учен мировой опыт и мировые тенденции в совершенствовании конструктивных параметров буровых установок: совершенствование конструкции и привода подвижных вращателей, гидравлических систем управления основными узлами и механизмами, совершенствование технологических операций по наращиванию бурового инструмента, извлечению керна из колонковых наборов, выполнению спускоподъемных операций и т.п.

3. Усовершенствованы конструкции керноотборных снарядов (колонковых наборов) с целью увеличения углубки за рейс и выхода керна для повышения качества геологического опробования, расширены их технические характеристики, позволяющие получить кондиционный выход керна в сложных горно-геологических условиях.

Однако проанализированные выше современные разработки заводов-изготовителей по выпуску буровой геологоразведочной техники обладают в основном потенциальными возможностями, которые не могут быть эффективно реализованы при недостаточном уровне потребности этого оборудования предприятиями, занимающимися разработкой и внедрением высокоэффективных технологий бурения геологоразведочных скважин. И, как это чаще всего бывает в практике проведения геологоразведочных работ на сегодняшний день, из-за отсутствия продуманной политики поддержки отечественных производителей буровой техники, планомерной загрузки заводов-изготовителей, целенаправленного развития мирового уровня современного производства недропользователи-производители геологоразведочных работ отдают предпочтение зарубежной буровой технике. Это обстоятельство при всех положительных моментах применения более технологически эффективных процессов бурового производства отрицательно сказывается на совершенствовании отечественного бурового машиностроения.

Реальные условия рынка бурового оборудования и технологий, перспективные задачи проведения геологоразведочных работ и анализ конкурентоспособности буровой техники позволили отечественным производителям установить ряд неоспоримых преимуществ зарубежной буровой техники по сравнению с отечественной.

ФГУП «Урангео» и рядом других предприятий при проведении геологоразведочных работ был сделан выбор в пользу бурового оборудования *Boart Longear* (LC-1000 и LF-90) [13]. Это позволило внедрить технологии бурения с применением снарядов со съемными керноприемниками *NQ* (75,3 мм) и *HQ* (95,6 мм) с производительностью 1500 м и более на станок в месяц. При этом был найден путь импортозамещения алмазных буровых коронок, используемых с этими комплексами. Алмазный породоразрушающий инструмент производителей «Терекалмаз» и «Эзтаб» оказался более эффективным.

ОАО «Полиметалл» выполняет геологоразведочные работы с применением импортной буровой техники *SHRAMM-T450*, смонтированной на гусеничном ходу, а также колонковых станков производства *Atlas Copco* и *Boart Longear* (станки *Diamec-252*, *U6*, *CS-14*). Происходит внедрение *RC*-технологий, позволяющих использовать обратную циркуляцию при пневмотранспорте шлама. При этом производительность буровых работ с опробованием по шламу составляет 2500–3000 м на станок в месяц по сравнению с 1000–1300 м при опробовании по керну.

Опыт проведения геологоразведочных работ в Ботуобинской ГРЭ (АК «Алроса») аналогично показал высокую эффективность применения буровых установок *SHRAMM-T450* с использованием пневмоударников и опробования по шламу при обратной циркуляции газообразного очистного агента, что требует дополнительно методического обоснования подсчета запасов с использованием шламового материала взамен кернового.

В отечественной практике бурения геологоразведочных скважин находят все большее применение техно-

логии с применением снарядов со съёмными керноприемниками (ССК), или технологии *Wire Line* по разработкам зарубежных фирм.

Рациональными областями применения комплексов ССК следует считать:

породы средних категорий (VI-VII), высоких категорий (VIII-IX) и частично X-XI категорий по буримости;

глубина бурения составляет: отечественными снарядами до 2500–3000 м, зарубежными — до 3000–5000 м.

Основными преимуществами таких технологий являются:

увеличение производительности и снижение стоимости работ за счет значительного повышения рейсовой скорости бурения;

повышение качества и достоверности опробования по керну за счет использования внутренней керноприемной трубы;

снижение риска обваливания стенок скважин за счет уменьшения воздействия на них гладкоствольной бурильной колонны при бурении и спускоподъемных операциях;

выполнение геологического задания в случае невозможности дальнейшего продолжения процесса углубки скважины за счет использования обычного колонкового набора меньшего диаметра.

Для бурения с использованием комплексов ССК в условиях отрицательных температур и присутствия в геологических разрезах по скважинам многолетнемерзлых горных пород целесообразно осуществлять очистку забоя газообразными очистными агентами [13], в частности — пенными газожидкостными смесями (ПГЖС). Данные по использованию газообразных очистных агентов и ПГЖС при бурении с применением комплексов ССК отсутствуют как в отечественной, так и в зарубежной технической литературе. Проведение таких исследований внесет существенный вклад в развитие эффективных технологий бурения геологоразведочных скважин.

Современные направления конструирования буровых установок реализуются через создание высокоэффективных буровых комплексов, обеспечивающих высокую степень механизации процесса бурения скважин и других технологических сопутствующих операций. Так, СЗАО «Недраинвест» (г. Минск) разработал документацию на самоходную гидрофицированную буровую установку БГ-50 с максимальной нагрузкой на крюке 50 т, предназначенную для бурения геологоразведочных эксплуатационных и технологических скважин на твердые полезные ископаемые и воду [2].

Буровая установка БУГ-50 позиционируется как конкурентоспособное импортзамещение бурового оборудования лучших зарубежных аналогов, применяемых в отечественной практике буровых работ. Основными отличительными особенностями такой буровой установки являются:

полный гидрпривод буровой установки, позволяющий обеспечить контроль основных технологических параметров за счет автоматического поддержания осевой нагрузки на забой с ограничением крутящего момента, плавного регулирования частоты вращения бу-

рового инструмента и подачи буровых насосов, а также механизации спускоподъемных операций;

телескопическая мачта с подвижным вращателем схода 13,5 м, позволяющая использовать свечи бурильных труб длиной 12 м;

высокий технический уровень изготовления и сервисного обслуживания завода-изготовителя, специализирующегося на производстве изделий военно-промышленного комплекса.

При выполнении горно-разведочных работ для подготовки к разработке месторождений важной практической задачей является выявление обводненных зон для проектирования осушительных мероприятий. Наиболее велика обводненность месторождений, в составе которых преобладают терригенные песчано-глинистые или закарстованные породы. Локальные обводненные участки неравномерно распределены в пределах месторождения, поэтому их поиск и оконтуривание при помощи разведочного бурения затруднены. Геофизические методы отличаются высокой детальностью и информативностью; они безопасны и не требуют обязательного контакта с внутренними точками среды [8].

Использование геофизических методов для поиска обводненных зон основано на различии электрических и сейсмических свойств объекта исследования и вмещающей среды. Области с повышенной водонасыщенностью характеризуются резким увеличением диэлектрической проницаемости и возрастанием амплитуды отраженной электромагнитной волны [4]. Кроме того, в зонах повышенной трещиноватости, к которым тяготеют подземные воды, снижены значения скорости продольных и поперечных волн и возрастают амплитуды микросейсмических колебаний. Многолетний опыт геофизических работ показывает, что для высокоразрешающих дистанционных исследований геологоразведочных выработок наиболее эффективным методами являются сейсморазведка и высокочастотная электроразведка [3]. Сейсморазведка основана на исследовании колебаний, возникающих при приходе в точку наблюдений упругих волн, искусственно созданных при помощи взрыва или удара. Высокочастотная электроразведка реализует сканирование среды электромагнитным полем кило- и мегагерцового диапазона [11].

Среди методов электроразведки наибольшей разрешающей способностью обладает георадиолокация [3]. В пространство горного массива непрерывно перемещающаяся антенна возбуждает импульсное поле с частотой 90–1700 МГц, которое тут же регистрируется совмещенным в антенный блок приемным устройством. Развертка записей полученного поля отраженных и дифрагированных волн выводится на экране георадара. При последующей автоматизированной обработке формируется глубинный георадиолокационный разрез.

При проведении георадиолокации в геологоразведочных выработках эффективно выделяются пустоты, ослабленные зоны, участки повышенной трещиноватости и обводненности, структуры поверхности затопленных участков, дефекты горной крепи.

В процессе проведения исследований был получен глубинный георадиолокационный разрез с использова-

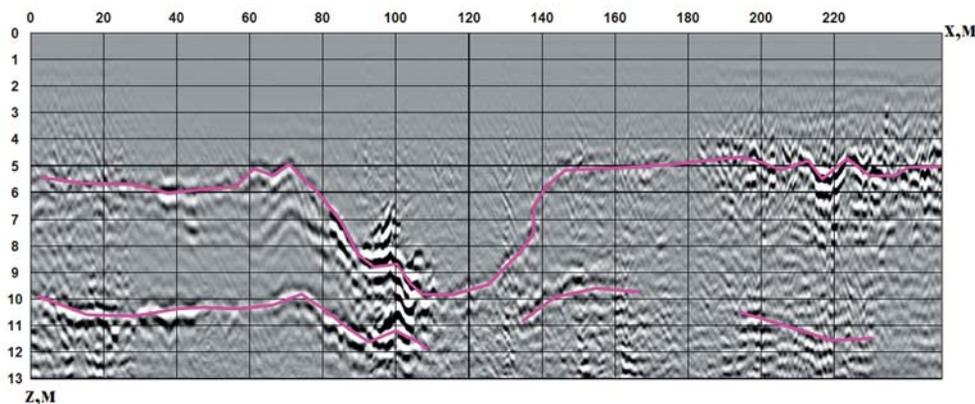


Рис. 1. Образец записи диаграммы амплитуд отраженных электромагнитных волн на георадиолокационном разрезе

нием серийно-выпускаемого геофизического комплекса ОКО-2. На разрезе глубина отражающих границ показана на вертикальной оси  $Z$ , а на горизонтальной оси  $X$  нанесены пикеты съемки. После обработки радарграмм отраженных электромагнитных волн в пределах затопленной части геологоразведочной выработки были выявлены отражающие границы (рис. 1). Первая — в интервале с 5 до 9 м, связана с основанием карьера, вторая — в интервале от 10 до 11 м, сопряжена с подошвой наиболее разрушенного слоя выветривания. Такие участки на диаграмме позволяют выделять интервалы водонасыщенности вмещающих горных пород по увеличению амплитуды отраженных электромагнитных волн.

Сейсморазведка в геологоразведочных выработках применяется для изучения физико-механических и водно-физических свойств пород в естественном залегании, поиска ослабленных зон и пустот, картирования уровня грунтовых вод [5, 9, 10, 12]. Сейсмическая разведка реализуется как в активном, так и в пассивном вариантах. В первом случае сейсмические волны возбуждаются слабыми ударными источниками, во втором — записывается фон естественных микросейсмических колебаний, базирующийся на основе обработки их компонент [7]. Активная сейсморазведка позволяет находить скорости сейсмических волн в пространстве горного массива и связывать их значения с составом, свойствами и состоянием горных пород месторождения. В обводненных зонах скорости продольных волн незначительно возрастают в коренных породах и заметно увеличиваются в зоне выветривания и рыхлом грунте. Скорость поперечных волн из-за повышенной трещиноватости и разуплотненности обводненных зон уменьшается.

Микросейсмами называют непрерывные, слабые колебания земной поверхности в широком интервале амплитуд и частот. Для целей сейсмического микрорайонирования наибольший интерес представляют микросейсмсы с частотами 0,5–10 Гц.

Для локализации обводненных зон перспективным представляется метод Накамуры, основанный на совместной обработке спектральных компонент полного вектора микросейсмических колебаний. Источником микросейсм могут быть массовые взрывы, выполняемые

при расширении открытых горных выработок.

При реализации метода Накамуры определяется реакция контролируемой точки на поверхностные колебания в виде отношения горизонтальной и вертикальной спектральной компонент колебаний ( $H/V$ ) [1]. Если параллельно измеряются две ортогональные горизонтальные компоненты  $H_x$  и  $H_y$ , то находится среднее из них:

$$\frac{H}{V} = \frac{H_x + H_y}{2V}$$

Результаты измерений микросейсмического шума в геологоразведочной шахте (рудник Мурунтау) (рис. 2) по методу Накамуры показывают, что массовые взрывы сопровождаются формированием затухающего колебательного процесса импульсного характера с некоторым преобладанием горизонтальных компонент. Спектр Накамуры горного массива упомянутого карьера содержит устойчивый пик на частоте 1,8 Гц (рис. 3а). На участках с повышенной обводненностью микросейсмические колебания усиливаются, и появляется ряд дополнительных высокочастотных пиков на частотах

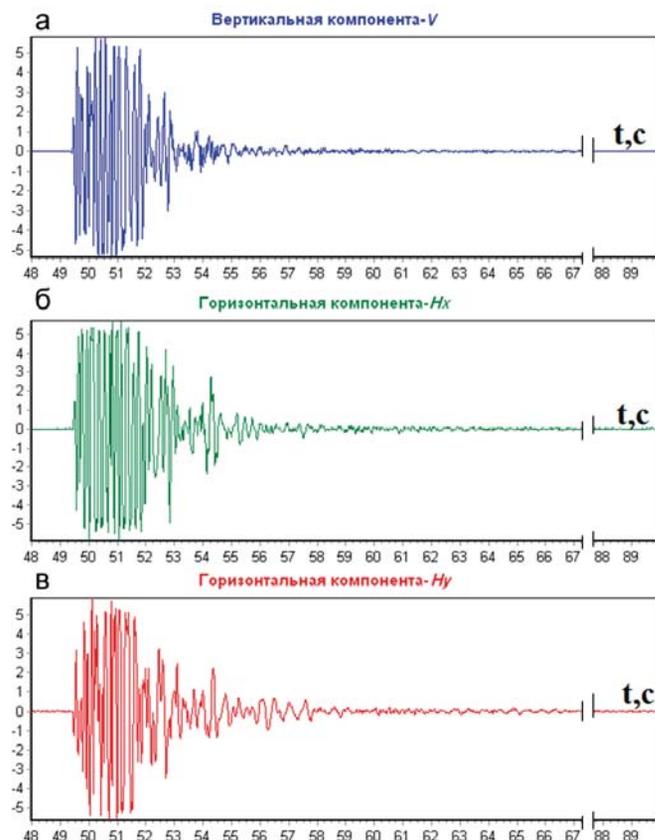
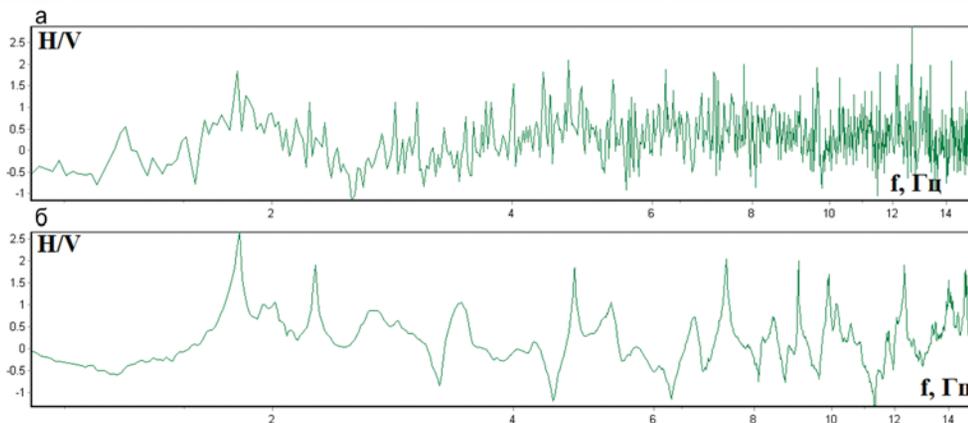


Рис. 2. Записи трехкомпонентного акселерометра, полученные на руднике Мурунтау в 2010 г. при массовых взрывах. Компоненты: а — вертикальная  $V$ , б — горизонтальная  $H_x$ , в — горизонтальная  $H_y$



**Рис. 3. Спектр Накамуры, полученный на руднике Мурунтау при измерениях:** а — на участке с ненарушенной структурой горного массива, б — на обводненной зоне с повышенной трещиноватостью

2,5; 3,5 и 4,5 Гц (рис. 3б). Таким образом, подобные изменения в спектре Накамуры служат отчетливым диагностическим признаком обводненных зон в горных породах месторождения.

При выполнении геофизических работ выделяют интервалы до 15 м, что позволяет применять эту методику для уточнения участков обводнения месторождений углеводородов с целью целенаправленного управления транспортирования скважин с горизонтальным окончанием для создания внутрислоистых систем подготовки углеводородов и систем эффективного заводнения таких месторождений в процессе их эксплуатации.

Полученные результаты показывают эффективность и значительные возможности геофизических методов при поиске обводненных зон месторождений полезных ископаемых. Метод георадиолокации позволил уточнить границы обводненных зон месторождения, а способ Накамуры при обработке измерений микросейсмических колебаний — указать на наличие ослабленных участков горного массива по возрастанию фона спектральных компонент и появлению дополнительных высокочастотных пиков.

Таким образом, можно отметить следующие пути повышения эффективности применения геологоразведочной техники при ведении геологоразведочных работ.

Поскольку технологический уровень развития отечественной буровой техники ниже зарубежных аналогов, то конструкторско-технологическим службам ведущих отечественных предприятий и заводов-изготовителей необходимо выполнить комплекс технологических исследований для поэтапного и планомерного решения задач по созданию конкурентоспособной буровой техники, позволяющей реализовать высокоэффективные способы бурения скважин, более высокий уровень механизации трудоемких операций (вспомогательных, спускоподъемных и др.), а также обеспечить более высокое качество геологического опробования в различных горно-геологических условиях.

Назрела необходимость создания межгосударственных отраслевых стандартов, позволяющих заинтересованным странам и фирмам-производителям привести

в соответствие размерные ряды бурового и породоразрушающего инструмента.

Следует обратить внимание заводов-изготовителей буровой техники на повышение надежности в работе узлов и агрегатов буровых установок, что является преваляющим критерием выбора отечественными производителями зарубежных буровых установок.

Необходимо создание координирующего органа по технике и технологии геологоразведочных работ. Кроме того, необходимо совершен-

ствовать сервисное обслуживание отечественной буровой техники.

Выполнение технического обоснования и разработка конструктивных параметров модульных установок — циркуляционных систем в составе буровых установок для бурения с применением газожидкостных смесей, позволит значительно повысить культуру производства, сократить расход компонентов буровых растворов, устранить поглощение при бурении в сильнопроницаемых горных породах, а также повысить экологическую безопасность бурового производства и уменьшить вредное воздействие на окружающую природную среду.

Проведение опытно-конструкторских работ по созданию контрольно-измерительных приборов буровых установок и их внедрение позволят совершенствовать управление процессом бурения и вспомогательными операциями, создав условия для оснащения буровых установок эффективными средствами механизации и автоматизации, а также манипуляторами повторяющихся технологических операций.

Необходимо выполнить работы по оборудованию буровых установок системами для бурения с продувкой сжатым воздухом и отбором шламового материала, провести геолого-методическое обоснование использования шламовых проб для подсчета запасов полезных ископаемых в соответствии с их категоричностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Коновалова О.А. и др. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса № 3 РГУ им. И. Канта с применением методики Накамура // Вестник Камчатской региональной организации. Сер. Науки о Земле. — 2010. — № 15. — С. 223–231.
2. Данилов Ю.А., Хмелев А.Я., Соловьев Н.В., Козловский Е.А. (мл.) Новый многоцелевой буровой комплекс БУГ-5 / Матер. XII междунар. н.-прак. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Т. 2. — М., 2015.
3. Данильев С.М., Глазунов В.В. Обоснование георадиолокационных критериев обнаружения и распознавания зон деструкций инженерных объектов на основе математического моделирования // Engineering Geophysics. — 2011.
4. Жуков Е.М. Сейсмические технологии — направление минимизации рисков аварий и экономических потерь на угледобывающих предприятиях // Уголь. — 2013. — № 1 (1042). — С. 77–79.
5. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. Учет сейсмических воздействий при оценке геомеханической устойчивости подземных сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2014. — № 3. — С. 42–46.
6. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Соловьев Н.В. Повышение эффективности буровых работ путем совершенствования системы их энергоснабжения // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 11. — С. 40.

7. Орлов Р.А. Опыт использования микросейсмического шума для решения геологических задач в условиях платформы // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. — 2011. — № 1. — С. 184–192.
8. Романов В.В., Мальский К.С. Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморастворкой // Горный информационно-аналитический бюллетень — 2015. — № 6. — С. 74–78.
9. Романов В.В., Мальский К.С., Боровой Е.А. Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7. — С. 77–81.
10. Романов В.В. Интерпретация сейсмической томографии на примере изучения геологического строения оползневого склона // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 3. — С. 34–37.
11. Романов В.В. Из опыта комплексного применения сейсморастворки и георадиолокации при инженерно-геологических изысканиях на территории Москвы // Инженерные изыскания. — 2015. — № 5–6. — С. 44–49.
12. Романов В.В., Гапонов Д.А. Применение инженерной сейсморастворки при изучении грунтовых вод в глинистых грунтах // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. — 2014. — № 6 (184). — С. 52–59.
13. Соловьев Н.В. Состояние и перспективы развития техники и технологии бурения геологоразведочных скважин // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 7. — С. 41–48.
14. Соловьев Н.В., Осецкий А.И. Состояние и пути повышения эффективности применения геологоразведочной техники при изучении твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 5. — С. 75–81.

© Соловьев Н.В., Романов В.В., Мальский К.С., 2016

Соловьев Николай Владимирович // nvs@mgrl-rggru.ru

Романов Виктор Валерьевич // roman\_off@mail.ru

Мальский Кирилл Сергеевич // sabbat@mail.ru

УДК 622.2

Букреев С.В. (МГРИ-РГГРУ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ В КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ И СИМУЛЯЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Решается задача разработки компьютерной симуляционной модели бурильной колонны, вращающейся в среде с сопротивлением, пропорциональным первой степени скорости движения колонны, в программном комплексе *MATLAB (Simulink)*, используя метод электромеханических аналогий. **Ключевые слова:** бурение, бурильная колонна, симуляционное моделирование, крутильные автоколебания.

Bukreev S.V. (MGRI-RGGRU)

RESEARCH OF TORSIONAL SELF-OSCILLATIONS IN A COLUMN OF BORING PIPES BY METHODS OF ELECTROMECHANICAL ANALOGIES AND SIMULATION MODELING

Solves the problem of the development of a computer simulation model of the drill string rotating in an environment with resistance proportional to the velocity of movement of the column, in the software package *MATLAB (Simulink)* using the method of electromechanical analogies. **Key words:** drilling, the drill string, simulation modeling, torsional oscillations.

В процессе бурения скважины колонна бурильных труб (КБТ), оснащенная породоразрушающим инструментом (ПРИ), подвергается воздействию ряда сило-

вых факторов, которые уменьшают подводимую механическую мощность от станка к ПРИ, тем самым снижая механическую скорость бурения и увеличивая время и материальные затраты на строительство скважин [1, 4]. Чтобы избежать данных явлений необходимо создание и внедрение автоматизированных комплексов контроля и управления процессом бурения [1]. Поскольку объектом регулирования является КБТ, представляющая собой сложную систему с распределенными по длине параметрами, при разработке таких комплексов требуется точная математическая модель. Для ее создания предлагается использовать программный комплекс *MATLAB (Simulink)* и метод электромеханических аналогий, позволяющих применять средства расчета и анализа электрических колебательных контуров при изучении кинематических и динамических свойств механических систем, поскольку дифференциальные уравнения, описывающие состояние этих систем сходны.

КБТ представляет собой механическую систему с распределенными по длине параметрами: массой, упругостью и потерями, характеристики которой зависят не только от времени, но также являются функциями ее длины и граничных условий. Механическая модель КБТ, показанная на рис. 1, эквивалентна длинному прямолинейному полому стержню, вращающемуся с постоянной угловой скоростью, испытывающему постоянное сопротивление со стороны условного забоя и нагруженного осевой силой [1, 4].

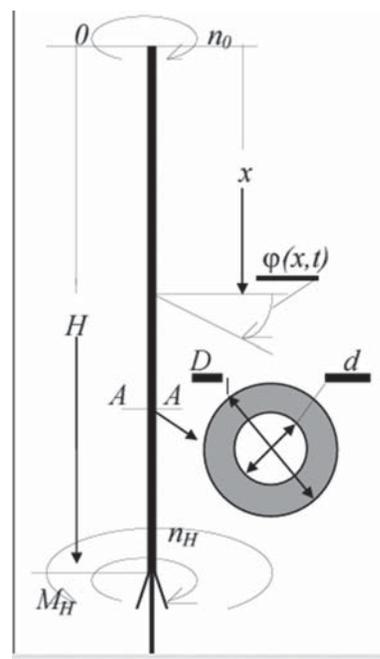


Рис. 1. Механическая модель КБТ: А — площадь поперечного сечения бурильной колонны;  $\varphi(x)$  — угол поворота текущего поперечного сечения колонны с координатой  $x$ ;  $J_p$  — полярный момент инерции поперечного сечения колонны (круговое сечение с внешним диаметром  $D$  и внутренним диаметром  $d$ );  $G$  — модуль сдвига материала колонны,  $n$  — скорость вращения колонны ( $n = \text{const}$ );  $M_H(P, n)$  — момент сопротивления вращению долота со стороны забоя;  $P$  — осевая нагрузка на долото;  $H$  — текущая глубина скважины (длина бурильной колонны)