Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 1, 1975 г.

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Член-корр. АН СССР *В. В. Ржевский*,
доктор техн. наук *А. П. Дмитриев*
(Московский горный ин-т)

Программой КПСС по строительству коммунизма в СССР предусмотрено дальнейшее развитие сырьевой базы современной индустрии. Увеличивать объемы горного производства и снижать себестоимость продукции предполагается за счет дальнейшего развития и совершенствования открытых и подземных горных работ путем разработки и внедрения высокопроизводительной техники, поточной технологии, создания комплексно механизированных карьеров, шахт и перерабатывающих комплексов с кибернетическим управлением.

В основу поиска, разработки и внедрения новых высокоэффективных технических средств и технологических процессов должны быть положены современные достижения физики, химии, термодинамики, электроники, вычислительной техники и других наук.

Развитие и совершенствование горного производства, создание теорий процессов и методов их научного прогнозирования должны базироваться на глубоком знании физических свойств горных пород и физической сущности процессов, происходящих при добыче и переработке полезных ископаемых. Последнее особенно важно при разработке новых технических средств и технологических процессов, основанных на использовании механических, тепловых, электромагнитных и физико-химических явлений в горных породах.

Одна из наиболее актуальных задач горной науки заключается в изучении пород как объектов горного производства и создании обобщенной классификации пород по основным (базовым) физическим свойствам, которая позволит объяснять и прогнозировать физические процессы, происходящие при добыче и переработке полезных ископаемых, сопоставлять и использовать данные, полученные в различных условиях, решать технологические, организационные, экономические и конструкторские задачи производства.

Изучение и решение этих вопросов положено в основу научного направления — физики горных пород и процессов. Существо проблемы заключается в глубоком познании физических и физико-химических явлений, происходящих в разных сферах горного производства, совершенствовании на основе этого существующих процессов производства и изыскании принципиально новых методов добычи и переработки полезных ископаемых.

Основными практическими задачами являются: 1) разработка физических основ и методов воздействия на горные породы с целью изменения их состава и состояния, свойств и качества (разрушение, упрочнение, расплавление, растворение, обогащение и т. д.); 2) разработка методов получения информации, а также прогнозирования состава, состояния и поведения массивов горных пород в процессе добычи и переработки на основе различия в физических свойствах или комплексах свойств.

Проблема включает несколько направлений, базирующихся на единстве научного подхода к исследованию горных пород как объектов горного производства, характеризуемых комплексом физических свойств.

В настоящее время различные направления физики горных пород и процессов развиваются во многих учебных, научно-исследовательских и проектных институтах горного профиля.

Комплексное исследование физических свойств горных пород — направление, являющееся базовым, в обобщенном виде включает два круга вопросов: 1) исследование горных пород и минералов как природных объектов, т. е. изучение их физических и физико-химических свойств, установление зависимости последних от минерального состава и структурно-текстурных особенностей, выявление взаимосвязи свойств, классификацию и паспортизацию горных пород по физическим свойствам; 2) исследование горных пород и минералов как объектов горного производства, предусматривающее изучение изменений их физических свойств, состава и состояния при воздействии различных внешних полей: механических, тепловых, электромагнитных и т. д., выявление закономерностей физических процессов, происходящих в породах.

Широкие исследования этих вопросов дали значительный экспериментальный материал, позволивший выполнить ряд обобщений и систематизаций: обосновать и разработать принципы классификации, паспортизации горных пород по физическим свойствам и рекомендовать рациональную форму записи паспорта породы.

Новизна предложенной классификации заключается в создании и разработке принципов разделения горных пород по их физическим свойствам, выявлении и обосновании базовых свойств, характеризующих процессы горного производства и дающих наиболее полную физическую характеристику породы как объекта разработки. Значительное внимание уделяется стандартизации методов определения свойств горных пород в образцах и массивах. По этому направлению разработаны методики определения всех базовых свойств горных пород как в обычных, так и в сложных естественных условиях.

Ведутся работы по определению комплекса горных пород, их паспортизации, установлению стандартных справочных данных. Полученные результаты используются для создания новых методов разрушения горных пород, определения содержания железа и влаги в рудах на конвейерной ленте, они применяются при проектировании и эксплуатации горных предприятий.

Большой интерес представляет установление закономерностей изменения физических свойств пород во внешних полях. Полученные характеристики позволяют выделять область использования различных методов разрушения пород и рекомендовать новые. Дальнейшие исследования в этом направлении должны включать: а) накопление паспортных данных по различным горным породам, их систематизацию и обобщение в соответствии с принципами классификации; б) установление зависимости физических свойств горных пород от минерального состава и строения, что позволит прогнозировать свойства пород без предварительного их определения; в) изучение закономерностей изменения физических

свойств пород во внешних полях в целях прогнозирования и выбора способов их добычи и переработки.

Механика горных пород и массивов включает исследования, связанные с использованием проявления горного давления в очистных и подготовительных выработках, устойчивостью горных выработок, разработкой методик инструментальных наблюдений за процессами деформирования массивов и натурных определений физико-механических свойств горных пород.

В результате исследований установлены закономерности деформирования горных пород вокруг выработок, разработаны методы прогнозирования устойчивости выработок и откосов, создана и опробована новая аппаратура для исследования физико-механических свойств горных пород в массиве.

На основе определения реологических свойств углей и пород созданы научные методы выбора и расчета крепи горных выработок с учетом длительного срока их эксплуатации.

Изучен механизм и разработаны способы гидрорасчленения угольных пластов с целью их дегазации и предотвращения внезапных выбросов.

Исследован процесс проявления горного давления при разработке мощных пологопадающих месторождений системами с открытым выработанным пространством и создан метод искусственной податливости целиков, снижающий их напряженность и сокращающий потери полезного ископаемого.

Для этого направления актуальны следующие проблемы: а) изучение свойств пород в массиве и методов перехода от лабораторных испытаний образцов к массиву; б) разработка простых и надежных в эксплуатации средств получения информации о процессах деформирования массивов пород во времени (акустических, электромагнитных, лазеров и др.); в) комплексное изучение и разработка методов управления водно-физическими и механическими свойствами пород, процессами деформирования целиков и выработок в зонах ведения горных работ, определение условий возникновения внезапных выбросов и обрушений пород, разработка методов предупреждения этих явлений.

Механическое и взрывное разрушение горных пород — направление, которое разрабатывает физические основы теории разрушения горных пород и выявляет направления дальнейшего совершенствования методов их взрывного и механического разрушения.

В области механического разрушения горных пород разработана методика определения свойств горных пород в зависимости от скорости деформации, изучен процесс передачи энергии породе механическими разрушающими органами различных конструкций. Эти работы открывают широкие возможности для создания высокопроизводительных горных машин. Исследованы способы бурения горных пород средней крепости шарошками и погружными пневмоударниками, наиболее перспективными на открытых и подземных работах

Исследования механического разрушения горных пород выполняются и для конкретных видов рабочих органов машин: ударных, вращательных, режущих, что позволяет совершенствовать каждый рабочий орган для определенного вида пород, но не раскрывает физической сущности процесса во всей его совокупности.

С этой точки зрения важно создать общие теоретические основы процесса механического разрушения, которые позволят прогнозировать условия эффективности различных породоразрушающих органов. Для решения этой задачи следует, очевидно, изучать поведение горных пород при различных скоростях деформации, что является фундаментальной основой методов оценки эффективности разрушения пород.

Не менее важная задача — изыскание средств и способов предварительного ослабления пород в забое, разрушения крепких включений в угольных пластах химическими, тепловыми, акустическими, электромагнитными и другими методами.

В области разрушения горных пород взрывом исследуются методы управления процессом с целью получения заданной крупности взорванных горных пород, проектируются и планируются взрывные работы с учетом генезиса и тектоники месторождений. Основные результаты исследований состоят в разработке технологии получения требуемого качества дробления горных пород взрывом, обосновании и расчете оптимальных параметров массовых взрывов, обеспечивающих, наряду с улучшением технико-экономических показателей, снижение сейсмического действия взрыва. Значительные успехи достигнуты по механизации взрывных работ на карьерах водонаполненными ВВ.

В области взрывного разрушения представляются актуальными: а) разработка теории взрыва и классификация горных пород по взрываемости на основе изучения их прочностных характеристик и трещиноватости, а также выбор наиболее эффективных методов дробления каждой категории пород; б) разработка методики расчета зарядов для получения заданной крупности дробления горных пород и типовых паспортов для каждой категории; в) разработка научных основ подбора типа ВВ для различных горно-геологических условий.

Термодинамика горных пород изучает тепловые процессы в горных породах, разрабатывает методы термического разрушения, бурения и упрочнения пород, исследует тепловой режим шахт и рудников, ведет исследования по тепловой интроскопии массивов и т. д.

Исследована физика процесса термического разрушения горных пород и разработана методика прогнозирования применения способа на различных месторождениях СССР.

Разработан термический способ бурения с использованием воздуха в качестве окислителя и создан ряд воздушно-огнеструйных термоинструментов.

В результате выполненных работ налажен выпуск серийных станков СБО, показавших высокую эффективность при бурении скважин в крепких горных породах.

В Ленинградском горном институте разработан термоотбойник для обработки поверхности гранитных блоков, повышающий производительность труда рабочих на строительстве гражданских и промышленных сооружений.

Разрабатываются комбинированные методы бурения и разрушения горных пород: знакопеременными температурными полями, термомеханическим с предварительным нагревом пород перегретым паром и другими. Промышленные испытания образцов новой техники показали возможность значительного повышения производительности бурения и снижения стоимости работ.

Учеными Ленинградского горного института исследуется тепловой режим в глубоких рудниках и шахтах, технология горных работ в условиях Крайнего Севера, разрабатываются методы тепловой интроскопии массивов для определения напряженного состояния, очагов самовозгорания и других факторов.

Изучен процесс и разработаны основы методики расчета низкотемпературного замораживания горных пород в условиях фильтрации термальных вод. Полученные данные по теплопередаче замороженных пород используются при проектировании шахтных стволов для условий Курской магнитной аномалии, Средней Азии и др.

К числу актуальных задач данного направления можно отнести: а) изучение тепловых свойств пород и изыскание методов управления

температурными эффектами (тепловое расширение, полиморфизм, дегидратация, плавление и др.) в технологических целях; б) совершенствование и внедрение термических и комбинированных способов бурения и разрушения горных пород; в) создание методов тепловой интроскопии массивов и изыскание эффективных средств регулирования теплового режима рудников и шахт; г) разработку и внедрение прогрессивных методов упрочнения слабых горных пород замораживанием.

Электродинамика горных полей разрабатывает физические основы и методы воздействия электрических полей на горные породы для их разрушения, плавления, упрочнения, изменения строения и свойств, а также методы получения информации о составе и состоянии полезных ископаемых.

Проведены исследования по низкочастотному электротермическому разрушению скальных пород и созданы установки для безвзрывного дробления негабаритов. На ряде карьеров исследования показали, что данный метод по сравнению с буровзрывным снижает себестоимость разрушения в 1,5—2 раза.

Разработаны инфракрасные генераторы для разрушения горных пород, перспективные для дробления валунов и отбойки породы от массива. На основе этих исследований разрабатывается проходческий комбайн для проведения выработок по крепким породам, получены положительные результаты.

Опытные и промышленные испытания проведены по применению электрических и магнитных методов для измерения влажности угля и руд, определения зольности и содержания полезных компонентов в горной массе и массивах, измерения напряжений в массиве и т. д.

Перспективны работы по комбинированному электромеханическому разрушению пород с использованием токов промышленной частоты и полей сверхвысокой частоты, применению электроимпульсных методов бурения и разрушения пород, разработке методов получения информации о составе и состоянии пород, основанных на зависимости электромагнитных свойств пород от состояния пород и внешних воздействий, созданию способов извлечения полезных компонентов, основанных на естественных или искусственно создаваемых различиях в физических свойствах породообразующих минералов.

Акустика горных пород и массивов разрабатывает основы теории распространения упругих колебаний в массиве горных пород.

Создан и подготовлен к серийному выпуску ряд ультразвуковых приборов для контроля состояния массива. Разработан и испытан ультразвуковой импульсный прибор, предназначенный для исследования горных пород в лабораторных и полевых условиях.

В результате экспериментов, проведенных в условиях Джезказганского комбината, комбината «Ростовуголь», Нурекской и Ингурской ГЭС, разработаны метод контроля напряженного состояния горных пород и специальная ультразвуковая аппаратура.

Создается методика обнаружения твердых включений, оценки степени нарушенности, контроля упрочнения массива и т. д.

Большой практический интерес представляют работы по лабораторному исследованию акустических свойств пород, находящихся в сложном напряженном состоянии при охлаждении. Результаты этих исследований использованы при разработке ультразвукового метода контроля параметров и состояния ледопородного цилиндра при строительстве шахтных стволов.

Ведутся работы по использованию упругих колебаний для интенсификации процессов разрушения горных пород и обогащения полезных ископаемых.

Для этих целей разработан первый в СССР мощный гидропневматический излучатель звукового диапазона частот.

Главная задача этого направления — конструирование специальной акустической аппаратуры и разработка инженерных методов ее использования в производственных условиях.

Радиоинтроскопия горных пород и массивов ставит своей целью разработку радиотехнических методов и создание аппаратуры для получения информации о внутреннем состоянии массива.

Начата разработка аппаратуры и методов радиолокации для обнаружения включений и пустот в массиве, контроля заполненности рудоспусков; конструирование датчиков и передатчиков, фиксирующих смещение кровли в очистных выработках; аппаратуры для автоматического контроля за состоянием пород кровли и почвы при работе комбайнов и др.

Выполнены исследования по радиоинтроскопии массива и создаются радиотехнические средства, обеспечивающие радиопросвечивание пород между выработками на расстоянии 100—150 *м*.

Одним из наиболее перспективных методов одностороннего просвечивания массивов пород является частотная радиолокация, позволяющая достигнуть в угольных шахтах глубины зондирования 60—70 *м*.

Разрабатывается аппаратура для радиосвязи непосредственно через массив пород, а также по выработкам шахт и рудников.

Для аварийной радиосвязи в условиях угольных шахт создаются миниатюрные радиотехнические устройства, обеспечивающие передачу разговорной речи через массив или завал на расстояние в 200—300 *м*.

Чрезвычайно важной в процессе автоматизации горного предприятия является проблема передачи большого объема информации. Исследования, проведенные в тоннелях метро и выработках шахт, и выполненные расчеты показали, что на волнах сантиметрового и дециметрового диапазонов можно передавать информацию по выработкам на расстояние в несколько километров.

Основными задачами этого научного направления являются: а) разработка надежных методов получения и расшифровки информации о составе и состоянии массивов пород; б) создание оригинальной технологической аппаратуры связи и дистанционного управления для подземных и открытых горных работ; в) создание автоматизированных систем управления производством и технологическими операциями.

Химия и биохимия горных пород призвана развивать физико-химические методы добычи полезных ископаемых (добыча серы и ртути расплавлением и возгонкой, растворение солей, добыча металла из руд и рудных отвалов методом выщелачивания, газификация углей и сланцев и др.); решать задачи очистки шахтных (рудничных) вод, попутной добычи полезных компонентов, борьбы с коррозией крепи, различных агрегатов и машин, профилактики подземных пожаров, борьбы с метаном и т. д.

Исследуются физико-химические свойства пород, методы и условия их добычи, самовозгораемость угля, химические и биохимические методы борьбы с метаном в шахтах, способы получения чистых веществ (кварца, серы). Практические успехи по некоторым из этих методов достигнуты в СССР и за рубежом. Так, например, разработана технология и проведен промышленный эксперимент по подземной выплавке серы на Предкарпатских и Гаурдакском серных месторождениях.

С точки зрения интенсификации отдельных физико-химических процессов горного производства (концентрация серы, железа, урана, поглощение метана и т. д.) значительный интерес представляют биохимические исследования с использованием деятельности бактерий.

Работы в области физики горных пород и процессов вызывают все более возрастающий интерес в широких кругах научной общественности.

С целью обеспечения нового научного направления квалифицированными кадрами в Московском горном институте создан физико-технический факультет, готовящий горных инженеров-физиков — специалистов совершенно нового профиля, призванных развивать и внедрять в горное производство новые высокоэффективные способы добычи и переработки углей и руд.

В феврале 1973 г. в Ленинградском горном институте выпущена первая группа инженеров по физике взрывных процессов, механике, теплофизике и радиоинтроскопии горных пород.