УДК 624.131:622.271

Н.А.КУТЕПОВА, *д-р техн. наук, гл. научный сотрудник,koutepovy@mail.ru*
Ю.И.КУТЕПОВ, *д-р техн. наук, проф., зав. лаб., koutepovy@mail.ru*
А.Н.ШАБАРОВ, *д-р техн. наук, директор Научного центра – проректор,*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

N.A.KUTEPOVA, *Dr. in eng. sc., Chief Research Fellow, koutepovy@mail.ru*
Y.I.KUTEPOV, *Dr. in eng. sc.., Prof , Head of Lab, koutepovy@mail.ru*
A.N. SHABAROV, *Dr. in eng. sc.., Director of Research Center – Vice Rector*
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНЫХ РАБОТ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ МАССИВАХ

Выполнен краткий обзор работ отечественных ученых и специалистов в области инженерной геодинамики, послуживших научной основой прогнозирования и предупреждения опасных горно-геологических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых. Рассмотрена общая концепция научно-методической системы обеспечения безопасности при ведении горных работ в водонасыщенных массивах, разработанная в Научном Центре горной геомеханики и проблем горного производства университета.

Ключевые слова: инженерная геодинамика, горные работы, водонасыщенные массивы, гидрогеомеханические процессы, опасные горно-геологические явления, научно-методическое обеспечение безопасности.

ENGINEERING-GEOLOGICAL ENSURING FOR SAFETY OF MINING WORK IN WATER-INUNDATED SOLID MASS

There was fulfilled a brief review an scientific works domestic scientists and specialists in the engineering-geodynamics area, which served the scientific principles for forecasting and warning of dangerous geological processes in the mining mineral deposit. The general conception the scientific-methods complex for safety of mining works in water-inundated solid mass was discerned, developed at the Scientific Center of Mining Geomechanics and mining issues University.

Key words: *engineering* geodynamics, mining, in water-inundated solid mass, gidrogeomehanial processes, dangerous geological processes, scientific and methodological safety ensuring.

Разработка месторождений полезных ископаемых оказывает мощное преобразующее воздействие на геологическую среду, изменяя рельеф и структуру породных массивов, гидрогеологический режим подземных вод, формируя на земной поверхности новые толщи самых молодых в истории Земли техногенных отложений. Масштабы техногенеза в горном деле сегодня соизмеримы с результатами геологической деятельности, протекавшей на протяжении многих миллионов лет. Например, за столетний период эксплуатации Анжеро-Судженского месторождения извлечено более 150 млн т угля нарушена толща пород мощностью 800 м. В результате дренирования подработанного массива напоры подземных вод были снижены более чем на 500 м. После погашения горных работ в недрах земли оставлено 60 млн м^3 пустот. При открытой разработке

МПИ годовые объемы извлекаемой горной массы исчисляются миллиардами кубометров, глубины горных выработок – превышают 500-метровую отметку, отвалы достигают высоты 150 м, а занимаемые ими площади – тысяч гектаров.

Активное внедрение в верхние слои земной коры нарушает сложившееся здесь за миллионы лет равновесие, вызывая развитие экзогенных геологических процессов, которые осложняют технологию горного производства, угрожают жизни и здоровью людей, наносят вред окружающей среде. Научной основой прогнозирования и предупреждения развития негативных последствий горнодобывающей деятельности являются результаты многолетней деятельности ученых и специалистов, работавших в рамках двух научных направлений – инженерной геодинамики и прикладной геомеханики.

Первоначально объектами исследований инженерной геодинамики были природные геологические процессы – «экзогенные», в формировании научно-прикладной базы знаний о которых большую роль сыграли работы Ф.П.Саваренского, Н.В.Коломенского, В.А.Приклонского. Развитие строительного дела предопределило переориентацию внимания специалистов на изучение «техногенных» процессов, инициированных возведением зданий, сооружений, крупных гидротехнических объектов, мелиорацией территорий. Результаты этих исследований нашли отражение в обобщающих монографиях, принадлежащих перу выдающихся ученых Е.М.Сергеева, В.Д.Ломтадзе, Г.С.Золотарева, Н.Н.Маслова, И.В.Попова, Г.К.Бондарика, И.П.Иванова. Современное содержание инженерной геодинамики в качестве объектов исследований включает техногенные процессы, сопровождающие разработку месторождений полезных ископаемых, которые по определению П.Н.Панюкова, принято называть «горно-геологическими явлениями».

Одним из направлений исследований инженерной геодинамики на протяжении всего периода ее существования являлось изучение гравитационных склоновых процессов – оползней, обвалов и др. В число ведущих исследователей в данном направлении входят Н.Ф.Погребов, А.П.Павлов, А.П.Нифантов, Г.И.Тер-Степанян, Г.М.Шахунянц, И.О.Тих винский, Е.П.Емельянова, В.В.Кюнтцель и многие другие. Их достижения, касающиеся систематизации причин, факторов, закономерностей, механизма и динамики развития гравитационных процессов на природных и искусственных склонах, послужили научным фундаментом решения проблемы прогнозирования опасных деформаций бортов карьеров, откосов отвалов, объектов промышленной гидротехники.

В разработке путей решения геомеханических проблем при открытой разработке МПИ принимало участие большое количество организаций бывшего СССР, среди которых Московский горный институт (А.М.Галь перин, В.Н.Попов, В.П.Истомин, М.Е.Певз нер), ВИОГЕМ (В.Н.Стрельцов, А.И.Ильин, А.В. Киянец), УГГА (В.Г.Зотеев), Карагандинский политехнический институт (И.И.По пов, П.С.Шпаков и др.), ЛГИ им. Г.В Плеханова – ныне СПГГУ (И.П.Иванов, Р.Э.Даш ко), ИГД им.Скочинского (А.М.Демин), УкрНИИпроект (Ю.Н.Малюшицкий, Н.Н.Куваев, Л.П.Загоруйко), Магнитогорский горно-металлургический институт (С.И.Попов, В.И.Пушкарев) и многие другие.

Выдающаяся роль в исследовании вопросов устойчивости бортов карьеров принадлежит специалистам ленинградского института ВНИМИ. Научная школа, созданная Г.Л.Фисенко, представлена целой плеядой специалистов – «устойчивиков», усилиями которых всесторонне изучены причины и механизмы деформирования бортов карьеров на угольных и рудных МПИ, обоснованы расчетные схемы для различных горно-геологических условий, ставшие доступными широкому кругу специалистов благодаря изданию «Правил обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах» – ныне основного нормативно-методического документа в этой области, утвержденного Ростехнадзором РФ.

Производство горных работ в водонасыщенных массивах сопровождается рядом явлений, связанных с нарушением гидрогеологических условий месторождений, которые по определению П.Н.Панюкова на-

званы «гидродинамическими», что подчеркивает основную причину их возникновения – изменение режима подземных вод. К ним относят прорывы подземных вод и плывунов в подземные выработки, депрессионные деформации пород в поле водопонижения, фильтрационный выпор, суффозионный размыв пород.

Изучение гидродинамических явлений при разработке МПИ в отечественной практике выполнялось по двум параллельным направлениям: с позиций горной геомеханики – с целью обоснования технических мер защиты горных выработок от вредного влияния подземных вод, и специалистами гидрогеологами – с целью прогноза водопритоков в горные выработки и разработки эффективных дренажных систем. Впервые вопрос о необходимости объединения теоретических основ геомеханики и геофильтрации для прогнозирования условий проявления опасных геологических явлений в водонасыщенных массивах был поставлен В.А.Мироненко и В.М.Шестаковым (1974), которых можно считать основоположниками гидрогеомеханики – самостоятельного научно-прикладного направления в механике горных пород. Дальнейшее развитие гидрогеомеханического подхода к решению задач горного профиля получило в работах А.М.Галь перина, С.М.Журина, А.И.Ильина, Ю.И.Кутепова, Ю.А.Норватова, В.Г.Румынина, В.И. Стрельцова, Ф.П. Стрельского, и др.

В современном понимании, научной основой обеспечения промышленной безопасности при производстве горных работ в водонасыщенных массивах является прогнозирование гидрогеомеханических процессов – совместных изменений гидродинамического режима подземных вод, напряженно-деформированного состояния водонасыщенных массивов, структуры и свойств слагающих их горных пород.

Экологический аспект решения проблемы состоит в прогнозировании характера проявлений гидрогеомеханических процессов на земной поверхности в виде нарушений природной обстановки и условий жизнедеятельности людей. Нарушения эти хорошо известны и у нас в стране и за рубежом, главным образом в связи с авариями жилых и промышленных зданий, коммуникационных сетей и сооружений. Они могут быть вызваны деформациями земной поверхности в результате дренирования породных массивов при добыче полезных ископаемых (депрессионными осадками); подтоплением территорий; активизацией природных геологических процессов вследствие изменения инженерно-геологических условий горнопромышленных районов. Следует заметить, что проблема оседания земной поверхности вследствие водопонижения актуальна не только для горнодобывающих районов, но и для крупных городов, где осуществляется интенсивная откачка подземных вод для целей водоснабжения. Эта проблема широко обсуждается специалистами различных стран (США, Италии, Англии, Мексики, Японии и др.), где были зафиксированы осадки земной поверхности, измерявшиеся метрами.

Повышение уровня грунтовых вод в горнодобывающих районах происходит по разным причинам, и, в том числе, из-за оседаний земной поверхности на подрабатываемых территориях, подъема уровней подземных вод при ликвидации горных выработок (при отключении шахтного или карьерного водоотлива); потери воды из различных гидротехнических сооружений (гидроотвалов, отстойников, хвостохранилищ, водохранилищ, и др.). В различные годы специалисты института ВНИМИ изучали данную проблему на действующих шахтах в Караганде, Челябинске, Павлограде, Червонограде. Опыт этих исследовательских работ отражен в ряде методических документов, устанавливающих общий подход к оценке и прогнозу изменения гидрогеологических условий при эксплуатации и ликвидации угольных предприятий.

Участки территорий городов и населенных пунктов, где природные геологические условия благоприятны для развития опасных геологических процессов, попадая в зону влияния горных работ, переходят в категорию повышенного геологического риска. Так, в холмистых районах под влиянием изменения инженерно-геологических условий активизируются оползневые процессы, нарушающие

устойчивость естественных склонов и находящихся на них строений. Характерно, что после полного завершения подземных разработок оползневая проблема на подработанных территориях не исчезает и требует дальнейшего решения.

Обобщение научного и практического опыта в области инженерной геодинамики и горной геомеханики позволило нам разработать общую концепцию системы научно-методического обеспечения безопасности при ведении горных работ в водонасыщенных породных массивах*, которая определяет цели, задачи, программа работ и методы исследований, выполняемых в рамках трех направлений (см.рисунок): 1) инженерно-геологическое изучение породных массивов в сфере влияния горных работ; 2) научное обоснование технических решений, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность; 3) мониторинг состояния природно-технической системы при ведении горных работ. Система обеспечивает решение различных инженерно-технических задач, основными из которых являются: определение устойчивых параметров горнотехнических сооружений – бортов карьеров, отвалов, гидроотвалов; разработка рациональных технологий ведения подземных и открытых горных работ, предусматривающих минимизацию негативных последствий; выбор мер защиты охраняемых объектов – соседних действующих и строящиеся горных выработок, наземных сооружений и коммуникаций, экологически ценных территорий и др.

Система функционирует в соответствии со следующими методологическими принципами:

1. Программа исследований – состав и объемы работ, методы и методики изучения, прогноза и контроля – должны соответствовать целям решаемых инженерно-техничес ких задач, закономерностям развития гидрогеомеханических процессов и обусловленных ими опасных экзогенных явлений в условиях конкретной природно-техногенной системы.

2. Обеспечение безопасности горных работ достигается при комплексном использовании специализированных методов исследований с учетом технологии горного производства, при этом изучение водонасыщенных массивов производят с применением инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических методов при оптимальном сочетании натурных и лабораторных исследований; обоснование – математическими методами гидродинамики и геомеханики; мониторинг – посредством маркшейдерско-геодезических, гидрогеологических, геомеханических, инженерно-геологических и методов и технических средств.

3. Все виды работ и исследований, выполняемых в рамках системы, взаимосвязаны, что предопределено взаимообусловленностью целей и задач трех направлений.

4. Изучение компонентов геологической среды выполняется с целью получить информацию, необходимую для прогнозирования поведения породных массивов при реализации технологических процессов, что достигается посредством решения следующих задач: а) установление «определяющих» признаков природно-техногенной системы, типа и характера деформационного поведения пород; б) получение количественных оценок интенсивности внешних воздействий, характеристик техногенного режима подземных вод, расчетных параметров свойств пород, соответствующих их деформационному поведению.

5. Инженерно-геологическое обоснование имеет цель: определение оптимальных параметров горнотехнических сооружений, рациональных технологий горных

---

* *Кутепов Ю.И.* Научно-методические основы инженерно-геологического обеспечения отвалообразования при разработке угольных месторождений: Автореф. дис. … докт. техн. наук. М., 1999.

Kutepov Y.I. Scientific-methodical fundamentals of geotechnical ensuring discard dumps during mining of coal deposits: Thesis of Doctor of Technical Sciences. Moscow, 1999.

Кутепова Н.А. Инженерно-геологическое обоснование прогноза гидрогеомеханических процессов при ведении горных работ: Автореф. дис. докт. техн. наук. СПб, 2010.

Kutepova N.A. Engineering-geological study of prediction gidrogeomehanicheskih processes in mining operation: Thesis of Doctor of Technical Sciences. Saint Petersburg, 2010.



Структура организации работ и исследований в рамках системы научно- методического обеспечения безопасности при ведении горных работ в условиях развития гидрогеомеханических процессов

работ и эффективных мер инженерной и экологической защиты, что достигается посредством последовательного решения следующих задач: а) обоснование частных (специализированных) моделей породного массива: геолого-структурной, инженерно-геологической, гидрогеологической и геомеханической; б) разработка комплексной гидрогеомеханической модели (ГГМ); в) прогноз изменения НДС массива с учетом влияния на его компоненты технологических процессов; г) оценка возможности развития опасных техногенных процессов и характера их влияния на безопасность горных работ и охраняемых объектов; д) разработка критериев безопасности.

6. Мониторинг состояния природно-техногенной системы имеет две цели: 1) контролирование промышленной и экологической безопасности при реализации технологических процессов и после их завершения; 2) изучение объективных (зафиксированных инструментальными измерениями) закономерностей в развитии гидрогеомеханических процессов и связанных с ними опасных горно-геологических явлений, что достигается посредством:

а) организации режимных наблюдений за основными факторами (контролируемыми параметрами), определяющими интенсивность развития гидрогеомеханических процессов – деформациями, напорами под-

земных вод, поровым давлением в техногенных массивах (деформационный и гидрогеологический мониторинг);

б) сравнения контролируемых параметров гидрогеомеханических процессов с критериями безопасности или выполнения непосредственных расчетов состояния массивов с использованием фактически зарегистрированных параметров (геомеханический мониторинг);

в) периодического опробования массивов на предмет соответствия инженерно-геологических характеристик пород расчетным параметрам, определенных прогнозным путем с учетом особенностей их деформационного поведения (инженерно-геологический мониторинг);

г) корректировки ГГМ с учетом уточненных параметров (в том числе и вычисленных путем решения эпигнозных задач) и объективно выявленных закономерностей развития гидрогеомеханических процессов;

д) выполнения долговременных прогнозов на базе откорректированной гидрогеомеханической модели.