

В.Н. Лабутин, В.С. Марков

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрены возможности использования комбинированного способа разрушения горных пород при подземной разработке полезных ископаемых с применением проходческих и очистных комбайнов с ударным и режущим исполнительными органами.

Ключевые слова: горная порода, проходческий комбайн, очистной комбайн, комбинированный способ разрушения, резание, удар.

В технологическом процессе добычи полезных ископаемых разрушение горных пород является первичной и одной из наиболее энергоемких операций, поэтому особую роль в развитии горной техники приобретает изыскание новых и совершенствование существующих способов разрушения горных пород, от эффективности и экономичности которых зависит общее энергопотребление на горных предприятиях.

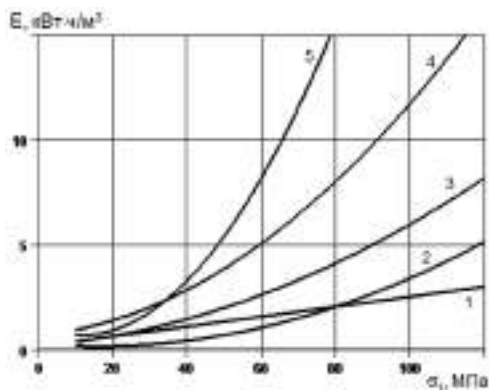


Рис. 1. Зависимость удельной энергоемкости разрушения горных пород от их прочности: 1 – взрывной способ; 2 – сплошное ударное разрушение (удельная энергия удара – 100 Дж/см лезвия зуба); 3 – повторно-блокированное резание дисковыми шарошками; 4 – резание вращающимися тангенциальными резами; 5 – свободное резание шарошками

Среди известных способов разрушения наибольшее распространение получили взрывной и механические: резание, ударное разрушение. В последние годы в горной промышленности постепенно расширяется применение гидравлического, термического и комбинированных способов. Стадии экспериментальных исследований и промышленных испытаний проходят электрофизические и химические способы разрушения.

Основными показателями, характеризующими эффективность разрушения, являются: производительность или интенсивность, удельные энерго- и материалоемкость, критерии потери качества полезного ископаемого, показатели безопасности труда и техногенной нагрузки на окружающую среду. Одним из важных критериев оценки перспективности способа отбойки полезного ископаемого следует также считать его технологичность, т.е. возможность создания на основе этого способа высокопроизводительной технологии с механизацией и автоматизацией всех операций добычного цикла.

Среди названных показателей удельная энергоемкость, определяемая затратами энергии при дроблении материала, непосредственно связана с проблемой ресурсосбережения в горной промышленности. В практике поль-

зуются интегральным показателем – объемной удельной работой (Дж/м³ или кВт·ч/м³), т.е. объемной энергоемкостью разрушения.

На рис. 1 представлен график, по данным многих экспериментальных исследований [1], где показана зависимость удельной энергоемкости от прочности пород, для наиболее эффективных и применяемых в настоящее время механических способов разрушения. Из графика видно, что наименьшей удельной энергоемкостью характеризуется взрывной способ, который к тому же универсален, обеспечивает высокую производительность и не имеет ограничений по прочности пород. В то же время ему изначально присущ ряд серьезных недостатков, в том числе многооперационность и связанная с ней сложность организации работ, высокая стоимость, сейсмичность, повышенная опасность, ухудшение экологической обстановки в горнодобывающих регионах, неравномерность дробления.

Несмотря на его постоянную модернизацию, проводимую в последнее время за счет использования новых ВВ, совершенствования буровой техники, средств взрывания и т.п., повышающих его технологичность и безопасность, полностью избавиться от названных выше недостатков не удастся. Поэтому в странах с развитой горнодобывающей промышленностью ведутся настойчивые поиски альтернативных способов разрушения горных пород.

Разрушение резанием (резцовым и шарошечным инструментом) широко используется в исполнительных органах добычных и проходческих горных машин. Эффективное применение резания ограничивается при работе резцового инструмента горными породами прочностью 40 МПа. Повышение технико-экономических показателей горных машин с режущими исполнительными органами обеспечивается в

основном за счет увеличения энерговооруженности машин с одновременным и обязательным повышением ресурса и надежности средств разрушения.

Использование шарошечного инструмента, особенно дисковых шарошек, расширяет границы эффективного применения резания до пород прочностью 80 МПа, позволяет в сравнении с резцовыми инструментами снизить удельную энергоемкость, динамичность работы исполнительных органов, расход инструмента, пылеобразование. Дополнительные перспективы использования дисковых шарошек для разрушения крепких пород открывает предложенный [2, 3] режим повторно-блокированного резания, названный позднее малоцикловым силовым разрушением.

Разрушение массива в этом случае происходит после многократного прокатывания дисковой шарошки, приводящего к накоплению остаточных напряжений и последующему разрушению.

Ударное разрушение в принципе применимо в породах любой крепости, однако более эффективно оно в хрупких породах. Благодаря практически мгновенному переходу энергии удара в разрушаемую породу, способ позволяет получить на лезвии инструмента в момент удара большие усилия (3–4 МН), что практически невозможно в статическом режиме. Важно и то, что реакция породы замыкается в системе «порода – инструмент – ударник машины», лишь малая ее часть передается на узлы основной конструкции. Это позволяет реализовывать большие усилия разрушения без увеличения прочности и массы базовой машины. Согласно приведенному графику, удельная энергоемкость ударного способа разрушения находится на уровне наименее энергоемкого взрывного способа и на порядок ниже разрушения резанием. С увеличением прочно-

сти породы эффективность ударного способа относительно резания повышается.

Однако при неоспоримом преимуществе по энергопотреблению на разрушение, конструктивные особенности мощных ударных устройств (общая длина их с инструментом превышает 2 м) являются препятствием в создании удовлетворяющего по габаритам исполнительного органа непрерывного действия (например, роторного), обладающего, как известно, максимальной возможной производительностью. Применяемые за рубежом проходческие комбайны, оснащенные ударным исполнительным органом идентичны по своей конструкции и отличаются лишь габаритными размерами, ходовыми механизмами и энергетическими параметрами ударных устройств. Они предназначены для проведения выработок по углю и горным породам прочностью $60\div 100$ МПа, а также для дробления крупных кусков породы на почве выработки, и состоят из ходовой части, привода, телескопической стрелы и, как правило, одного ударного механизма циклического действия, работающего по малоэффективной схеме «в лоб забоя».

Эффективность ударного разрушения горных пород во многом зависит от выбранной схемы разрушения. Наибольший эффект достигается при послышной схеме, когда забой имеет две обнаженные поверхности, а инструмент наклонен к одной из них под углом $20\div 30^\circ$ (отбойка сколом) [4]. Для создания двух плоскостей обнажения при проходке выработок необходимо образовать вруб, при производстве которого используется отбойка выколом (разрушение «в лоб забоя»), когда инструмент наклонен к поверхности забоя под углом близким к 90° . Энергоемкость процесса отбойки выколом на два порядка больше, чем при разрушении сколом. О низкой эффективности отбойки выколом свидетельствует тот

факт, что затраты времени на образование вруба при проведении выработки составляют около 50% продолжительности цикла в целом [5].

Учитывая характерную неоднородность строения породного массива при добыче различных полезных ископаемых, определяющую неравнозначную сопротивляемость механическому разрушению отдельных его участков, предлагается комбинированная схема разрушения забоя, сочетающая известные преимущества резания и ударного разрушения. Такая схема разрушения была апробирована и оценена нами при проходке горной выработки по многолетнемерзлым горным породам проходческим комбайном ГПКС, оснащенный режущей головкой с приводом мощностью 55 кВт и ударным органом с энергией удара 1,7 кДж. [5]. Шахтные эксперименты проводились на одной из россыпных шахт Якутии. Забой нарезной выработки сечением 7 м^2 был представлен беспорядочно ориентированным кварцевым щебнем, цементированным песчано-глинистым заполнителем. В слое мощностью до 0,5 м забоя имелись отдельные включения кварцевых валунов размером $0,1\div 0,15$ м. Коренные породы нижней части забоя (плотик) представляли собой глинистые сланцы.

Технологический процесс проведения выработки заключался в следующем (см. рис. 2). В первую очередь у почвы забоя (по плотнику) с помощью режущей головки проходилась вруб, средняя высота которого составляла 0,6 м, а глубина соответствовала величине хода телескопа комбайна – 0,5 м. Оставшаяся часть забоя разрушалась ударным исполнительным органом последовательными сколами стружки в сторону обнаженной поверхности вруба. Окончательное доведение сечения выработки до проектных размеров осуществлялось путем снятия режущей головкой приконтурного слоя толщи-

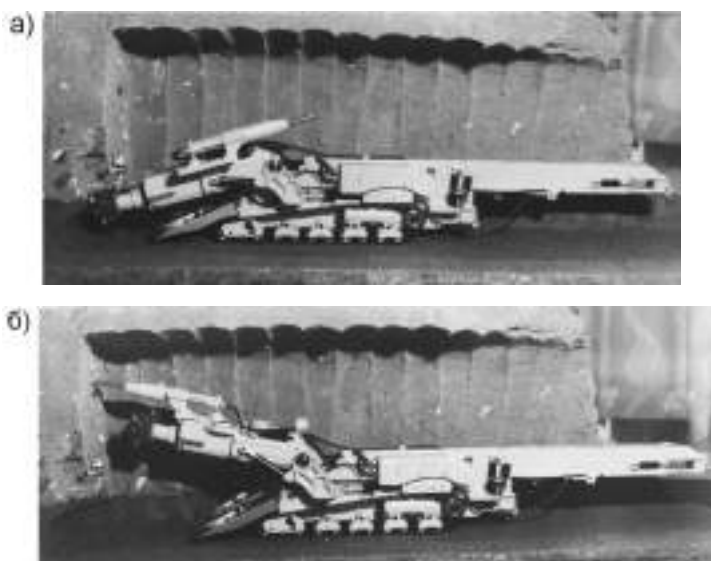


Рис. 2. Модель проходческого комбайна с комбинированным исполнительным органом: режущей головкой и ударным исполнительным органом: а) режущей головкой производится вруб по плотике у почвы выработки, б) ударным рабочим органом разрушается забой над врубом

ной 10÷20 см, ослабленного ударными нагрузками.

Результаты экспериментальных исследований комбинированного разрушения многолетнемерзлых горных пород показали, что при проведении горной выработки с неоднородным строением средняя удельная энергоёмкость разрушения по всему забою более, чем в 2 раза меньше энергоёмкости, полученной при обработке участков забоя резанием. Техническая скорость проходки составила около 1 пог.м/ч, а эксплуатационная при коэффициенте использования рабочего времени 0,5–3÷4 пог.м/смену, что почти в три раза выше, чем проходка с применением БВР.

С целью оценки возможности использования комбинированного способа разрушения для ведения проходческих работ в породном массиве с неоднородной структурой и различными физико-механическими свойствами вмещающих горных пород и сравнения его с резанием и ударным разрушением,

проведен расчет энергетических параметров проходки горной выработки сечением 12 м². Условно был принят забой горной выработки, нижняя часть которого высотой 0,8 м сложена породами с $\sigma_{сж} = 40$ МПа, а остальная часть – с $\sigma_{сж} = 8,0$ МПа. В качестве базовой машины принят проходческий комбайн избирательного действия среднего класса, оснащенный режущей головкой с приводом мощностью 100 кВт и ударным исполнительным органом с энергией единичного удара 2,5 кДж.

Технологический цикл проходки включает образование вруба в забое с породой прочностью 40 МПа с помощью режущей головки диаметром 0,8 м на глубину подачи 0,6 м; разрушение центральной части забоя ($\sigma_{сж} = 8,0$ МПа) ударным исполнительным органом и, обработку резанием приконтурной части забоя толщиной 0,2 м. Приконтурная часть забоя является трудным участком для разрушения ударным инструментом, где про-

Расчет энергоемкости способов разрушения

Способ разрушения	Прочность породы, $\sigma_{сж}$, МПа	Объем разрушения, м ³	Производительность разрушения, м ³ /ч	Удельная энергоемкость, кВт·ч/м ³	Средняя уд. энергоемкость по забою, кВт·ч/м ³	Скорость проходки, пог.м/ч
Комбинированный						
Образование вруба резанием	40	1,9	30	3,3	4,17	1,02
Ударное разрушение центральной части забоя	8,0	4,25	12	1,5		
Обработка забоя резанием	8,0	1,05	6	16,6		
Ударный						
Образование вруба	40	1,2	3	5	2,4	0,54
Обработка центральной части забоя	8,0	4,32	12	1,5		
Обработка контура выработки	8,0	1,68	5	3,0		
Резание						
	40	1,9	30	3,3	13,1	0,63
	8,0	5,3	6	16,6		

изводительность снижается по сравнению с разрушением центральной части забоя в 2÷3 раза. В связи с этим приконтурный слой толщиной 0,1÷0,2 м, в какой-то мере уже ослабленный ударной нагрузкой, можно разрушать режущей головкой, при этом улучшается качество поверхности (выровненная, без заколов после нанесенных ударов) и точность проектных отметок горной выработки.

Расчетные данные по удельной энергоемкости разрушения, производительности и скорости проходки для трех способов разрушения представлены в таблице.

При проходке горных выработок в породном массиве с неоднородной структурой и прочностью горных пород сочетание резания и удара позволяет в сравнении с проходкой обычным резанием увеличить ее скорость на 60% и в 3 раза снизить удельные энергозатраты на разрушение. При ударном разрушении забоя имеем самую низкую удельную энергоемкость, однако скорость проходки уменьшается по сравнению с комбинированным разрушением почти в 2 раза.

Проходка горной выработки проходческим комбайном, оснащенным режущей головкой, характеризуется высокими удельными энергозатратами, низкой производительностью и большим расходом режущего инструмента, особенно при разрушении пород прочностью выше 60 МПа и абразивностью более 15 мг.

Предварительные научно-технические разработки и экономические расчеты, а также проведенные шахтные экспериментальные исследования процесса разрушения многолетнемерзлых горных пород ударом и резанием показали возможность создания горных машин с комбинированным исполнительным органом, сочетающим принцип резания и ударное разрушение. Такой выбор исполнительного органа объясняется условиями залегания продуктивных пластов россыпных месторождений криолитозоны, характеризующихся различной структурой и прочностью составляющих их частей. Нижняя часть пласта (плотик) с мощностью около 0,5÷1,0 м, состоящая из разрушенных трещинами глинистых сланцев легко разрушается резанием. Остальная часть

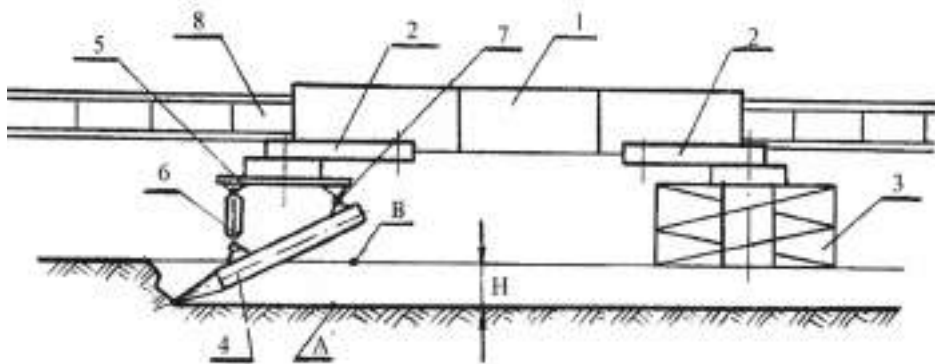


Рис. 3. Схема компоновки комбайна с режущим и ударным исполнительными органами

забоя, представляющая собой гравийно-галечниковые отложения, цементированные песчано-глинистым заполнителем ($f = 6-8$), не поддается резанию, но хорошо разрушается ударом.

В современной добыче угля подземным способом доминирует единый подход к комплексной механизации на основе использования узкозахватной комбайновой и струговой технологий, ориентированных на реализацию в стабильных качественных горно-геологических условиях. Прочность отдельных структурных элементов разрушаемого угольного массива может меняться в широких пределах: от пластов простого строения, весьма слабых и хрупких с сопротивляемостью угля резанию до 120 кН/м , которые могут эффективно разрушаться угольными многолезцовыми исполнительными органами, до участков с местными замещениями пласта частично или полностью боковыми породами с сопротивляемостью резанию $400 \div 1000 \text{ кН/м}$. Для перехода таких участков механизированными комплексами применяют буровзрывную технологию разрушения пластов с присечкой боковых пород.

Для эффективности процесса добычи угля из пластов сложного строения, содержащих породные пропластки и твердые включения, предлагается использовать комбинированный спо-

соб разрушения забоя, сочетающий обычное резание и ударное разрушение, с помощью которого можно избирательно, в рациональных режимах производить разрушение резанием или ударом отдельных элементов угольного забоя в зависимости от их прочности. При этом достигается раздельная, селективная выемка породных прослоек и угля. Схема выемочной машины флангового действия, оснащенной шнековым и ударным исполнительными органами, представлена на рис. 3. Она состоит из корпуса 1, в котором размещены приводные устройства исполнительных органов и подачи комбайна, поворотных редукторов-рукояток 2, с помощью которых исполнительные органы меняют свое положение по мощности пласта, шнека 3, оснащенного резами. Ударные устройства 4 закреплены на поворотной плите 5 с помощью телескопической стойки 6 и шарнира 7. Количество ударных устройств выбирается в зависимости от мощности угольного пласта и породных прослоек. Перемещается выемочная машина по ставу конвейера 8. Во избежание нежелательного контакта резов шнекового органа с породой взаимное расположение исполнительных органов должно быть таким, чтобы траектории их движения вдоль забоя, обозначенные на рис. 3 как А и В, проходили друг от друга на расстоянии не

менее толщины разрушаемого слоя H , снимаемого ударным инструментом.

Работа выемочной машины осуществляется следующим образом. Ударный исполнительный орган 4 с помощью поворотного редуктора-рукоятки 2 и плиты 5 устанавливается в плоскости забоя для разрушения породного прослойка и фиксируется в исходном положении. С помощью телескопической стойки 6 выбирается необходимый для зарубки угол атаки, включается шнековый орган 3 и механизм подачи, перемещающий выемочную машину вдоль лавы. В конце лавы, после выхода исполнительных органов из забоя, выемочная машина останавливается. Ударные устройства поворачиваются на 180° и ориентируются на разрушение очередного прослойка обратным ходом машины, при условии невоз-

можности их разрушить за один проход. После разрушения всех породных прослойков выемочная машина подвигается к забою на величину вынутаго слоя породы H .

Энергопотребление на комбинированное разрушение в сравнении с резанием можно снизить в зависимости от структуры и прочности пород в забое в 2–4 раза и в таких же пропорциях увеличить скорость проходки. Комбинированный способ, основанный на поэтапном ударном разрушении крепких породных прослоев с последующим разрушением разупрочненной части забоя резанием, может найти широкое применение при добыче неоднородных по строению и прочностным свойствам продуктивных пластов угольных, рудных, россыпных и жильных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маттис А.Р. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.

2. Герике Б.Л., Кунце Г. Направление совершенствования рабочих органов добывающих поверхностных фрез // Вестник КГТУ. – 2001. – № 2.

3. Герике Б.Л. Исследование режимов работы исполнительных органов очистных

комбайнов с дисковым скалывающим инструментом: Дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово: КузГПИ, 1977. – 18 с.

4. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. – М.: МГТУ, 2002.

5. Марков В.С., Сугаренко Г.Г., Елшин В.К. и др. Шахтные испытания проходческого комбайна ГПКС с экспериментальным комбинированным исполнительным органом // ФТПРПИ. – 1988. – № 5. – С.78–80. **ПВАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лабутин Виктор Никитович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: LabVN@jandex.ru, ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН,

Марков Валерий Степанович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: marko-valeri@mail.ru,

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

UDC 622.235.6

PROSPECTS OF APPLICATION OF COMBINED METHOD DESTRUCTION OF ROCKS

Labutin V.N., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia, e-mail: LabVN@yandex.ru,

Markov V.S., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 678015, Yakutsk, Russia, e-mail: marko-valeri@mail.ru.

The possibilities of using combined method destruction of rocks in underground mining using in heading machines and shearers with impact and the cutting head.

Key words: rock, heading machines, shearer, combined method destruction, cutting, impact.

REFERENCES

1. Mattis A.R. *Bezvzryvnye tekhnologii otkrytoy dobychi tverdykh poleznykh iskopaemykh* (Nonexplosive technology open-pit mining of solid minerals), Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2007, 337 p.
2. Gerike B.L., Kuntse G. *Vestnik KGTU*. 2001, no 2.
3. Gerike B.L. *Issledovanie rezhimov raboty ispolnitel'nykh organov ochistnykh kombaynov s diskovym skal'yavayushchim instrumentom* (The study modes executive bodies shearers rotary shearing tool), Candidate's thesis, Kemerovo, KuzPI, 1977, 18 p.
4. Protasov Yu.I. *Razrushenie gornykh porod* (Destruction of rocks), Moscow, MGU, 2002.
5. Markov V.S., Sugarenko G.G., Elshin V.K. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 1988, no 5, pp. 78-80.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА: ДИВЕРСИФИКАЦИЯ, ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ И ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ, ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, РАЦИОНАЛЬНОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Vasilev Yu.N., Marinina O.A., Tochilo M.V., Nevskaya M.A., Ligotskiy D.N., Sergeev I.B., Mineeva A.S., Ponomarenko T.V., Khaertdinova D.Z., Koveshnikova K.I., Sheikin A.G., Cherepovitsyn A.E., Lyubek Yu.V., Ponomarenko T.V., Belytskaya N.A., Chantsalmaa Bavuu, Sin'kov L.S., Lebedeva O.Yu., Tsvetkova A.Yu., Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Представлены отдельные результаты научных исследований, выполняемых в рамках диссертационных работ и охватывающие различные экономические проблемы стабильного функционирования и развития минерально-сырьевым комплексом. Выявлены основные экономические проблемы развития горнодобывающей промышленности. Исследованы методы государственного регулирования процессов повышения энергоэффективности в промышленности. Рассмотрены методические подходы к оценке стратегических программ в нефтегазовой отрасли. Оценена возможность использования концессионных соглашений в минерально-сырьевом комплексе. Рассмотрены вопросы совершенствования моделей диверсификации в горной промышленности. Исследованы вариации качества угольной продукции российских угледобывающих компаний. Предложен авторский подход к определению минерально-сырьевого потенциала. Показаны возможности и раскрыты особенности формирования конкурентного преимущества нефтяной компании на основе результатов интеллектуальной деятельности.

Ключевые слова: минерально-сырьевой комплекс, горнодобывающая промышленность, диверсификация, угольная продукция, повышение энергоэффективности.

MODERN ECONOMIC PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF MINERAL-RAW COMPLEX: DIVERSIFICATION, GOVERNMENT REGULATION, STRATEGIC PROGRAMS AND INVESTMENT PROJECTS, RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT, RATIONAL SUBSOIL USE, QUALITY MANAGEMENT

Vasilev Yu.N., Marinina O.A., Tochilo M.V., Nevskaya M.A., Ligotsky D.N., Sergeev I.B., Mineeva A.S., Ponomarenko T.V., Khaertdinova D.Z., Koveshnikova K.I., Sheikin A.G., Cherepovitsyn A.E., Luebeck Yu.V., Ponomarenko T.V., Belytskaya N.A., Chantsalmaa Bavuu, Sin'kov L.S., Lebedeva O.Yu., Tsvetkova A.Yu., National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Some results of the research performed in the framework of theses, covering various economic problems of stable functioning and development of mineral-raw material complex. Identified the major economic problems of development of the mining industry. The methods of state regulation of processes of increasing energy efficiency in industry. Methodological approaches to the evaluation of strategic programs in the oil and gas industry. Evaluated the possibility of using concession agreements in the mineral resource sector. They discussed the issues of improving patterns of diversification in the mining industry. Studied the variation of coal quality Russian coal companies. The author's approach to determining mineral potential. The possibilities and the peculiarities of formation of competitive advantages of the oil company on the basis of the results of intellectual activity.

Key words: mineral resources, mining industry, diversification, coal products, energy efficiency.