

УДК 622:621.311.6

В.И. Городниченко

**ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ — АЛЬТЕРНАТИВА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ КРЕПКИХ
ГОРНЫХ ПОРОД**

Рассматриваются первичные источники энергии, с целью обоснования разработки основ использования их в технологии добычи полезных ископаемых высокой крепости.

Ключевые слова: горная порода, земная атмосфера, жильные месторождения, горизонтальная выработка, скважина.

Традиционная технология и технические средства добычи полезных ископаемых основаны на механическом и взрывном способах разрушения горных пород. Механический способ разрушения является основным при отбойке от массива полезных ископаемых ниже средней крепости (в основном от 2 МПа и ниже). При отбойке крепких горных пород из-за высокой энергоёмкости механического разрушения и большого износа инструмента этот вид разрушения применяют преимущественно для бурения шпуров и скважин, в которые затем размещают взрывчатые вещества, производящие отбойку породы. Традиционная технология добычи полезных ископаемых находится в стадии эволюционного развития: совершенствуются машины, разрушающие породу инструменты, материалы, взрывчатые вещества, механизуются отдельные технологические процессы и т.п. При этом сохраняется принципиальная основа сущности механического и взрывного разрушения крепких горных пород для отбойки их от массива. Кроме этого, традиционная технология оказывает значительное вредное воздействие на окружающую среду: нарушается состояние земной поверхности после

обрушения горных пород в выработанное пространство, значительные территории земной поверхности занимают отвалы пустых горных пород, выделяющиеся вредные газы и вещества попадают в земную атмосферу, в водоёмы и подземные водоносные горизонты. Применяющиеся процессы совершенствования традиционной технологии в совокупности с организационными мероприятиями дают определённый экономический эффект, но в них отсутствует принципиальный фактор, позволяющий создать новую технологию добычи крепких полезных ископаемых без недостатков присущих традиционной технологии.

Обеспечить в полной мере потребности в минеральном сырье и при этом рациональное использование недр в части полноты извлечения запасов минерального сырья, а также сохранение окружающей природной среды возможно лишь на основе интенсификации горных работ. Компонентами интенсификации подземных горных работ, которые обеспечат условия для повышения производительности труда, снижения себестоимости продукции горных предприятий, безопасности труда горняков и выполнения потребности в минеральном сырье являются: комбайновая про-

ходка горных выработок и выемка полезных ископаемых очистными механизированными комплексами.

Применение проходческих комбайнов обеспечивает необходимую скорость проходки и высокие эксплуатационные характеристики выработок. Наиболее эффективен при этом дифференцированный подход в выборе проходческих машин для горных выработок различного назначения и параметров. Для проходки протяжённых горизонтальных и восстающих выработок целесообразно применять комбайны с исполнительными органами роторного типа, а для проходки коротких выработок необходимы проходческие установки и устройства с невысокими трудозатратами на монтажно-демонтажные работы.

Результаты исследований [1] свидетельствуют о больших возможностях в использовании физических и комбинированных способов разрушения горных пород для создания исполнительных органов проходческих машин во всём диапазоне крепости горных пород. При проходке восстающих выработок в крепких горных породах наименьшие затраты получены в случае применения буровзрывного способа с секционным взрыванием скважинных зарядов, которые производились на компенсационную полость, образуемую путём расширения одной из скважин электротермическими установками. Но в период эксплуатации выработок, пройденных буровзрывным способом в крепких горных породах, необходимо производить оборку стенок и кровли для обеспечения безопасных условий эксплуатации. Затраты на эти работы в восстающих выработках достигают 50 % от прямых затрат при проходке. В результате комбайновой проходки стенки выработок образуются, практиче-

ски, гладкие, что значительно повышает их устойчивость и снижает затраты на крепление и эксплуатационное содержание.

Значительное повышение эффективности очистных работ при подземной разработке тонких рудных месторождений возможно лишь при условии создания очистных механизированных комплексов, обеспечивающих выемку с минимальным разубоживанием за счёт сокращения объёмов отбойки боковых пород. Наиболее перспективно это для маломощных жильных месторождений, содержащих руды высокоценных металлов. Результаты, достигнутые в развитии физических способов разрушения крепких горных пород, содержат предпосылки для организации широких промышленных испытаний технологии добычи жильных руд, основанной на отбойке пород от массива с помощью электротермических установок. Жильные месторождения руд высокоценных металлов в большинстве своем расположены, как правило, в труднодоступных, малоосвоенных, со слаборазвитой инфраструктурой регионах Сибири, Дальнего Востока, Крайнего Севера. Возможности потребления электроэнергии на сравнительно небольших рудниках данных районов могут оказаться фактором, ограничивающим применение на этих рудниках для добычи руды мощных энергетических установок на электроэнергии. Вместе с этим, на Сибирь в настоящее время приходится 70 % добычи угля по России. И запасы угля в Сибири таковы, что доля добычи угля здесь будет возрастать также и в связи с сокращением добычи в других регионах страны. Поэтому, представляется актуальным проведение исследований и опытно-конструкторских работ с целью создания техниче-

ских средств и технологии добычи крепких полезных ископаемых на основе альтернативных электроэнергии источниках энергии. Основные достоинства этой технологии: полная механизация отбойки и доставки руды, снижение разубоживания до минимального значения (3 — 5 %), снижение затрат на дробление и измельчение жильной массы, снижение непроизводительных затрат на транспортировку и переработку горной массы. А также, создание в перспективе дистанционно управляемого с применением компьютерной техники очистного комплекса, работающего по заданной программе в пределах участка месторождения с установленными горно-геологическими параметрами.

Первичные источники энергии — это солнце, ветер, реки, морские приливы-отливы, ископаемые энергоносители: жидкие, твёрдые, газообразные, а также радиоактивные элементы (уран), геотермальная энергия, биомасса, мусор и другие отходы жизнедеятельности человека. Добыча полезных ископаемых высокой крепости связана, прежде всего, с разрушением их на стадии выемки из породного массива. В настоящее время энергия первичных источников в промышленном производстве для этих целей в натуральном виде не используется. Энергия ископаемого топлива и радиоактивного распада элементов преобразуется в электроэнергию, электроэнергия преобразуется в механическую энергию, которая направляется для разрушения горных пород. Гидроэнергия и энергия ветра также преобразуется в электроэнергию, которая для добычи полезных ископаемых используется в виде гидро- пневмо- или механической энергии. Перевод энергии первичных источников к виду, пригодному для не-

посредственного применения в промышленности, предопределяется необходимостью расхода определённого, подчас значительного, количества энергии в единицу времени. Система преобразователей, находящаяся между первичными источниками энергии и процессами потребителями этой энергии, является, как бы, концентратом энергии в нужном месте в нужное время. Солнечная энергия — наиболее чистый и, с позиции сохранения среды, безопасный источник энергии. При использовании этой энергии нет вредных отходов, не происходит загрязнения среды. Солнце — дешёвый и неисчерпаемый источник энергии. Энергия солнца — излучение стоит наиболее близко к потребителю. Энергию солнца — не обязательно переводить в другие виды энергии. Чтобы применить энергию солнца — излучение для добычи (для разрушения) крепких полезных ископаемых достаточно ее в натуральном, но в концентрированном виде подвести к горной породе. И с этой точки зрения, энергия солнца в определенных условиях, наиболее применима для добычи полезных ископаемых. От Солнца на Землю поступает более $15 \cdot 10^{17}$ кВт·ч энергии. Около половины этой энергии поглощается Землей и её атмосферой, в то время как годовое энергопотребление на Земле в $3 \cdot 10^4$ раз меньше поглощённой Землей энергии Солнца. Вклад Солнца в энергетический баланс Земли в $5 \cdot 10^3$ раз превышает то, что дают все другие источники энергии. Космические солнечные батареи имеют отношение масса: плотность = $1,76 \text{ кг/м}^2$. Удельная мощность на солнечной батарее, в случае применения фотопреобразователей, составляет около 108 Вт/м^2 . Стоимость солнечных батарей в космосе около 30 тыс. долларов/ м^2

[2, 3]. В космосе на солнечную батарею (16 м^2) на гелиостационарной орбите поступает 100 кВт , выходная мощность на Земле $19,5 \text{ кВт}$. В перспективе вариант схемы передачи энергии из Космоса на Землю: солнечное излучение — постоянный ток — СВЧ — передающая антенна — переход через Космос и атмосферу Земли — приемная антенна — преобразование СВЧ в постоянный ток. Предельная мощность спутниковой энергосистемы для генерирования и передачи энергии из космоса на Землю 10^7 кВт . На поверхность Земли поступают прямые и рассеянные солнечные лучи. Плотность солнечных лучей на поверхности Земли составляет 1 кВт/м^2 , в Космосе — около $1,4 \text{ кВт/м}^2$. Общее количество энергии, поступающее на Землю с солнечными лучами, значительно перекрывает потребности в энергии на Земле. Проблема состоит в том, что солнечная энергия поступает неравномерно на различные участки поверхности Земли и в различное время года и суток. Это проблема накопления энергии, перераспределения её во времени и пространстве. Несмотря на это, в мире имеются проекты действующих станций на солнечной энергии [4]. Во Франции в 1970 году начала действовать станция на солнечной энергии. На щите размером $40 \times 54 \text{ м}$ размещено 9000 маленьких зеркал, которые, образуя 63 подвижных зеркала, следящих за движением Солнца, отражают солнечную энергию, концентрируют её на приемнике, находящемся на расстоянии 18 м . Температура в этом месте достигает $3800 \text{ }^\circ\text{C}$. Имея такой источник излучения, вероятно, возможно вести добычу полезных ископаемых открытым способом. Над месторождением полезного ископаемого возводится солнечная

ферма, от которой с помощью зеркал, следящих за движением Солнца, солнечные лучи направляются в нужные места карьера, где горная порода разрушается этими лучами до требуемой крупности.

К неистощимым ресурсам можно отнести также энергию рек, морских приливов-отливов, энергию ветра, геотермальную энергию. Эти виды первичных источников энергии применимы для добычи полезных ископаемых после превращения их энергии в электрическую или другой вид энергии. Например, электроэнергия с помощью электротермических устройств, генерирующих инфракрасное излучение, может разрушать горную породу самой высокой крепости. Энергия рек используется на гидроэлектростанциях путём преобразования потенциальной энергии воды в энергию вращения турбины и далее генератора, который преобразует энергию движения в электроэнергию. Прямое применение энергии движения воды осуществляется, в том числе, для разрушения горных пород и добычи полезных ископаемых при условии создания концентрированных струй, потоков, движущихся с высокой скоростью. Применение гидроэнергии для добычи (разрушения) полезных ископаемых не является универсальным. Этот способ имеет в настоящее время ограничения по прочности горных пород. Несмотря на это, в будущем возможно его дальнейшее развитие. Использование энергии морских приливов-отливов для добычи полезных ископаемых возможно на территориях сопряжения морского побережья и месторождений полезных ископаемых. Существует мнение, что пик использования энергии ветра уже в прошлом. Электроэнергия и нефть сделали приме-

нение энергии ветра второстепенным. Но определенный интерес к энергии ветра сохраняется до настоящего времени во многих странах. Энергия ветра зависит от его скорости. Применение энергии ветра состоит в преобразовании её в электроэнергию, и значительно реже в преобразовании одного вида движения — вращательного в поступательное. Мощность и размеры ветровых станций соответствуют определенной скорости ветра. Наибольший эффект использования энергии ветра достигается при скорости ветра 12 м/с. При отклонении от этой скорости — эффект снижается. Крупная ветровая станция перестает давать ток при скорости ветра менее 6 м/с. Небольшая ветровая станция способна давать электроэнергию при скорости ветра 4—5 м/с. Мощность ветровых станций сравнительно невелика — максимум до 2000 кВт. Использование энергии ветровых станций возможно и эффективно в процессах существенно менее энергоёмких, чем добыча крепких полезных ископаемых.

Геотермальная энергия — тепловая энергия недр Земли имеется в больших количествах, но находится она на глубине доступной для экономически и технологически эффективного использования лишь в некоторых районах, как правило, удаленных от месторождений полезных ископаемых. Оптимальным является использование тепловой энергии недр Земли в её натуральном виде. Например, перегретый пар, который может иметь температуру до 200—400 °С, или горячая вода используются для отопления жилых и производственных помещений, а также для других бытовых нужд населения.

Мировые ресурсы ископаемого топлива — твердого, жидкого и газообразного имеют, хотя и разные, но ко-

нечные сроки истощения. По некоторым данным [5, 6], потребность в энергии будет покрываться в будущем всё возрастающим потреблением угля. За последние 30—40 лет использовано 80—85 % общего количества нефти и около 50 % угля, добытых человечеством за всю историю. Периодически возникающие вопросы об исчерпаемости топливно-энергетических ресурсов необходимо рассматривать в совокупности с вопросами рационального использования энергетических ресурсов, именуемых первичными источниками энергии. Доля энергоносителей для производства электроэнергии в Германии в 1998 году составила: атомная энергия — 33 % (в 1997 г. — 36 %), бурый уголь — 27 % (27 %), каменный уголь — 27 % (25 %), природный газ — 7 % (6 %), прочие (вода, ветер, солнце, биомасса, мусор) — 4 %. Максимальный к.п.д. на электростанции, работающей на угле, составляет около 38 %. Перспективным считается новый способ производства электроэнергии, предполагаемый к использованию лет через 18—20. Он позволит получить к.п.д. — 50 % [7]. В настоящее время к.п.д. процесса на основе мазута или газа составляет около 57 %. Использование выработанной электроэнергии в промышленном производстве представляет собой дальнейшее множественное преобразование одного вида энергии в другой. Это относится и к добыче полезных ископаемых. Множество стадий преобразования энергии первичных источников энергии может привести к тому, что использование конечного вида энергии не даст вообще никакой выгоды. Применение лишь одной стадии преобразования энергии первичных источников в излучение, которое далее направляется непосредственно для разрушения крепких горных пород, является путем интенсификации

Таблица 1

Низшая удельная теплота сгорания W_n первичных источников энергии и расход их Q для отбойки 1 м^3 горной породы

№ пп	Источник энергии	W_n , кВт·ч/кг	Q , кг/м ³
1	Антрацит (А)	5,28—7,5	22,7—16,0
2	Каменные угли (Д)	5,8—6,7	20,1—17,9
3	Бурые угли	2,8—4,7	42,9—25,5
4	Горючие сланцы	1,75—2,3	68,8—52,2
5	Торф	2,3—3,05	52,2—39,3
6	Дрова	2,8	42,9
7	Бензин	12,11—12,25	9,91—9,8
8	Дизтопливо	11,86	10,1
9	Керосин	11,94	10,1
10	Мазут	10,83—11,39	11,1—10,5
11	Природный газ	10,0	12

Таблица 2

Расчётные значения удельного расхода первичных источников энергии (кг/м²·час) для излучателей с различной температурой °С

Первичные источники энергии	Температура излучателя, °С						
	300	400	500	600	700	800	900
Мазут	0,3÷0,4	1,1÷1,05	1,9÷1,84	3,1÷2,9	4,6÷4,4	6,6÷6,3	9,2÷9,7
Природный газ	0,5	1,2	2,1	3,3	5,0	7,2	10,5
Дизтопливо	0,42	1,0÷1,01	1,8÷2,2	2,78	4,2	6,07	8,85
Керосин	0,42	1,0÷1,01	1,8÷2,2	2,76	4,18	6,03	8,8
Каменный уголь	0,86÷0,75	1,8÷2,1	3,2÷3,6	5,7÷5,0	7,5÷8,6	10,8÷12,3	16÷18
Бурый уголь	1,8÷1,06	2,54÷4,32	4,5÷7,6	7,0÷11,9	10,5÷18	15÷26	22÷38

использования первичных энергоносителей, а также процессов добычи полезных ископаемых. В таблице 1 приведены значения удельной теплоты сгорания первичных источников энергии и расчётные значения расхода их для отбойки 1 м^3 горной породы. По имеющимся данным [4], расход электроэнергии при поверхностном разрушении горных пород генераторами электромагнитного излучения на электроэнергии составляет около 120 кВт·ч/м^3 . Электромагнитное излучение в основном инфракрасного диапазона. Инфракрасным излучением передаётся в горную породу до 95 % энергии. Применяя для получения инфракрасного излучения, например, каменный уголь или мазут, можно определить, что для отбойки 1 м^3 горной породы потребуется: $120 : (5,8 \div 6,7) = (20,7 \div 17,9) \text{ кг}$ угля или $120 : (10,83 \text{ ч}$

$11,39) = (11,1 \text{ ч } 10,53) \text{ кг}$ мазута. Структура потерь энергии на излучателях на первичных источниках энергии будет такой же, как на генераторах инфракрасного излучения на электроэнергии. Потому, что твердый, жидкий или газообразный энергоноситель подводится к преобразователю так же, как к нему подводится электроэнергия. Здесь, на преобразователе и первичный энергоноситель и электроэнергия превращаются в тепловое излучение, а потери энергии обусловлены именно тепловыми потерями. КПД преобразования энергии первичного энергоносителя в энергию инфракрасного излучения будет одинаковым с КПД преобразования электроэнергии в инфракрасное излучение на излучающих элементах из тугоплавких сплавов. При этом, есть основания предполагать, что на излучателях на

базе первичных энергоносителей будет проще применить какие — либо конструктивные приемы для снижения потерь энергии, за счёт уменьшения рассеивания энергии в окружающее пространство и направления потока излучения на поверхность горной породы, чем на генераторах на основе электроэнергии, в связи с тем, что на первых отсутствует электрическое напряжение. В табл. 2 показаны расчётные значения удельного расхода первичных источников энергии для излучателей с различной температурой.

Концепция конструкции установки на первичных источниках энергии для добычи крепких полезных ископаемых: модуль — секция — панель — батарея. Энергетическая мощность модуля 120 — 150 кВт. Состав секции — 5—7 модулей, мощность — 600—1050 кВт. Панель — 5 секций, мощность 3000—5250 кВт. Батарея — не-

сколько панелей при соответствующем кратном увеличении энергетической мощности. Блочность функциональных систем: породоразрушающий орган, система преобразователей энергии первичных энергоносителей в энергию излучения и передачи её горной породе, система очистки призабойного пространства от разрушенной горной породы, система доставки горной массы на транспортные средства циклического или непрерывного действия. Контейнеризация: блоков обеспечения установки первичными источниками энергии, блоков аккумуляции исходящими продуктами работы установки, блоков аккумуляции горной массы при циклическом транспорте; система предотвращения засорения рудничной атмосферы пылью и вредными исходящими продуктами работы установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. — М.: МГУ, 1995.
2. Прямое преобразование энергии. Пер. с англ. Под ред. Лидоренко Н.С. — М. 1975.
3. Пленочные термоэлементы: физика и применение. Отв. ред. Лидоренко Н.С. — М. 1985.
4. Swen Ypell. Solenrgi och audra alternative energikällor. Liber Laremedel, Malmц, 1977.
5. Орлов В.П. Минерально-сырьевая база России и мира: взгляд в XXI век. — Минеральные ресурсы России. №3, 1999.
6. Юзвицкий А.З. и др. Угольные ресурсы Сибири и их рациональное использование. Минеральные ресурсы России, №3, 1999.
7. Журналы «Глюкауф». — № 1, 2. — 1999. **ИТАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Городниченко В.И. — кандидат технических наук, доцент, профессор, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

