

12. Aynbinder I. I., Ovcharenko O. V., Patskevich P. G. Justification of geotechnology parameters for iron ore mining at Yakovlevskoe deposit. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2015. No. 12. pp. 8–15.
13. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P., Aynbinder I. I., Sabyanin G. V. Outlook for the enhanced safety and improved efficiency of diamond deposit mining. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2009. No. 6. pp. 75–85.

14. Leyzerovich S. G., Pomel'nikov I. I., Sidorchuk V. V., Tomaev V. K. Resource-reproducing wasteless geotechnology of complex mastering of KMA deposits. Moscow : Gornaya kniga. 2012. 547 p.
15. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P. Geocology of soil mastering and ecogeotechnology of deposit mining. Moscow : Nauchtekhizdat, 2015. 360 p.
16. Bitimbaev M. Zh., Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N. Theory and practice of stowing operations during the mineral deposit mining. Almaty : Assotsiatsiya vuzov Kazakhstana, 2012. 624 p.

УДК 622.272

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*



М. В. РЫЛЬНИКОВА,
зав. отделом,
проф., д-р техн. наук,
rylnikova@mail.ru,
ИПКОН РАН, Москва, Россия



К. И. СТРУКОВ,
президент компании,
канд. техн. наук,
information@ugold.ru,
ООО «УК ЮГК», Челябинск, Россия



В. В. ОЛИЗАРЕНКО,
доцент, канд. техн. наук,
Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия



И. С. ТУРКИН,
главный механик,
канд. техн. наук,
ООО «УралЭнергоРесурс»,
Магнитогорск, Россия

Введение

Актуальность исследования условий и параметров применения энергоэффективных геотехнологий при комплексном освоении рудных месторождений обусловлена, с одной стороны, ростом энергопотребления рудников с увеличением глубины горных работ (доля энергетических затрат в себестоимости добычи твердых полезных ископаемых достигает 45–50 %), а с другой – растущим интересом в мире к получению и использованию возобновляемых источников энергии. Доля возобновляемых источников в общем балансе энергоресурсов является одним из основных показателей эффективности экономики страны [1].

Учитывая, что горная промышленность во всем мире является наиболее крупным потребителем энергии (37–55 % мирового

С учетом того, что горная промышленность является наиболее крупным потребителем энергии, проведена оценка перспектив применения и параметров энергоэффективных геотехнологий при комплексном освоении недр. При этом особое внимание уделено возобновляемым источникам энергии. Указано на необходимость внедрения гидроэлектростанций малой мощности, параметры которых зависят от условий разработки месторождений и, в частности, от объемов водопритоков на отдельные горизонты карьеров и подземных рудников. Показано, что потоки водоотлива являются круглогодичным резервом воспроизводства электроэнергии от возобновляемых техногенных источников. Предложена каскадная схема последовательного съема на промежуточных горизонтах энергии потоков гидросмеси и приведена методика оценки мощности рудничных потоков.

Ключевые слова: энергоэффективные геотехнологии, возобновляемые источники энергии, горнотехническая система, потоки гидросмеси, водоотлив, закладка, гидротурбина, генератор.

DOI: 10.17580/gzh.2017.11.13

потребления) [2], были проведены исследования, результаты которых показали, что наряду с геотермальной энергией [3–7] при реализации геотехнологических процессов в ходе техногенного преобразования недр имеется реальная возможность компенсации части потребляемой при ведении горных работ энергии путем воспроизводства ее из источников, формируемых в геотехнологических процессах водоотлива, вентиляции, закладочных работ, выпуска рудной массы и др. Возможны также рекуперация энергии движущихся на спуске под уклон транспортных средств и судов, использование энергии горного давления, собственных и наведенных колебаний горного массива.

Исследования [8] показали, что наибольшим энергетическим потенциалом обладают формируемые на руднике движущиеся вниз самотечные потоки гидросмеси, циркулирующие круглогодично и представленные загрязненными водами с повышенным содержанием твердого в системе водоотлива, твердеющими и гидравлическими закладочными смесями на основе отходов добычи и переработки руд (далее – гидросмеси). Они формируются на

* Исследования выполнены в рамках базового бюджетного финансирования ИПКОН РАН (№ темы: 0138-2014-0001).

горизонтах сбора поверхностных и подземных вод, поверхностных закладочных комплексах (ПЗК), обогатительных фабриках (ОФ), хвостохранилищах и преимущественно самотеком перемещаются вниз до главных горизонтов водоотлива или закладочных работ подземных рудников. Как показали выполненные расчеты, сбор и преобразование их энергии в электрическую позволяет компенсировать до 40–50 % энергопотребления действующих рудников [9].

Сокращение расхода энергии на горных предприятиях за счет ее воспроизводства возобновляемыми техногенными источниками будет способствовать улучшению состояния окружающей среды благодаря сокращению выбросов CO₂, экономии природных топливно-энергетических ресурсов.

Развитие малой энергетики при разработке месторождений полезных ископаемых

Воспроизводство электроэнергии от потоков гидросмеси возможно на основе усовершенствования конструкций малых гидроэлектростанций (ГЭС). Оценка достигнутых успехов в мировой гидроэнергетике путем сравнения конструкций различного рода гидротурбин, применяемых в малой гидроэнергетике и на современных плотинных гидроэлектростанциях сверхбольшой мощности (рис. 1), позволила выявить основные перспективные тенденции развития конструкций гидротурбин и на этой основе сконструировать образцы для съема энергии потока загрязненной гидросмеси в условиях подземного рудника.

Анализ мирового опыта свидетельствует, что эксплуатация ГЭС в два раза экономичнее тепловых электростанций (ТЭЦ). Проектирование микро- (до 5000 кВт и более) и макро- (до 100 кВт и более) гидроэлектростанций (ГЭУ) малой мощности по аналогии с ГЭС также имеет большие перспективы, в том числе, при комбинированной разработке рудных месторождений на больших глубинах.

Современная геотехнология выдвинула новые инновационные направления электровоспроизводства – преобразование энергии вспомогательных потоков гидросмесей, которые формируются

только при реализации процессов открытой, подземной и комбинированной геотехнологий разработки месторождений твердых полезных ископаемых [3–7, 10–12].

Оценка параметров рудничных потоков гидросмеси

Использование возобновляемых источников энергии природного и техногенного происхождения при комплексной разработке рудных месторождений рассматривалось применительно к условиям подземных рудников Урала, дорабатывающих на больших глубинах жильные крутопадающие золоторудные тела Кочкарского, Светлинского, Березовского и Новотроицкого месторождений. При этом оценивали также перспективу воспроизводства электроэнергии в ходе реализации геотехнологических процессов при разработке крутопадающих рудных тел Гайского, Учалинского и Узельгинского медно-колчеданных месторождений.

Энергия для работы ГЭУ малой мощности при комбинированной разработке месторождений накапливается во вспомогательных потоках гидросмеси, движущихся встречно основному грузовому потоку руды и породы, согласно структурной схеме, представленной на рис. 2.

Перспективы развития ГЭУ малой мощности зависят от условий разработки месторождений, объемов водопритоков на отдельные горизонты карьеров и подземных рудников, расстояний между подэтажами и этажами перепуска воды. По сути, потоки водоотлива являются круглогодичным резервом воспроизводства электроэнергии от возобновляемых техногенных источников. Структура формирования и распределение потоков водоотлива по горизонтам шахты «Центральная» (Кочкарское месторождение), Гайского и Учалинского рудников [13] в зависимости от глубины горных работ представлена на рис. 3.

Также перспективы развития ГЭУ малой мощности связаны с возможностью получения и преобразования энергии потоков закладочных смесей, размещаемых в выработанном пространстве карьеров и подземных камер [9, 14]. Величина воспроизводимой энергии в этом случае зависит от объемов гидросмеси, ее плотности, разности высотных отметок подачи и приема смеси, транспортиру-

Турбины лопастные: верхнебойная (а); среднебойная (б); нижнебойная (в); струйная экспериментальная (г)	Турбины: винтовая Архимеда; винтовая лопастная; лопастная капсульная экспериментальная	Турбины: винтовая Архимеда; винтовая пропеллерная Каплана	Турбины: винтовая Архимеда; винтовая с прорезью Каплана	Турбины: ковшовые Пилтона; ковшово-струйные ГЭС	Турбины: винтовая Архимеда; диагонально-осевая Тюрго	Турбины: центробежно-радиальная Френсиса; экспериментальная

Рис. 1. Развитие конструкций гидротурбин от лопастных, винтовых, ковшовых до современных, эксплуатируемых на плотинных гидроэлектростанциях большой мощности (Пилтона, Каплана) и гидроэлектростанциях малой мощности (Каплана, Тюрго, Френсиса)

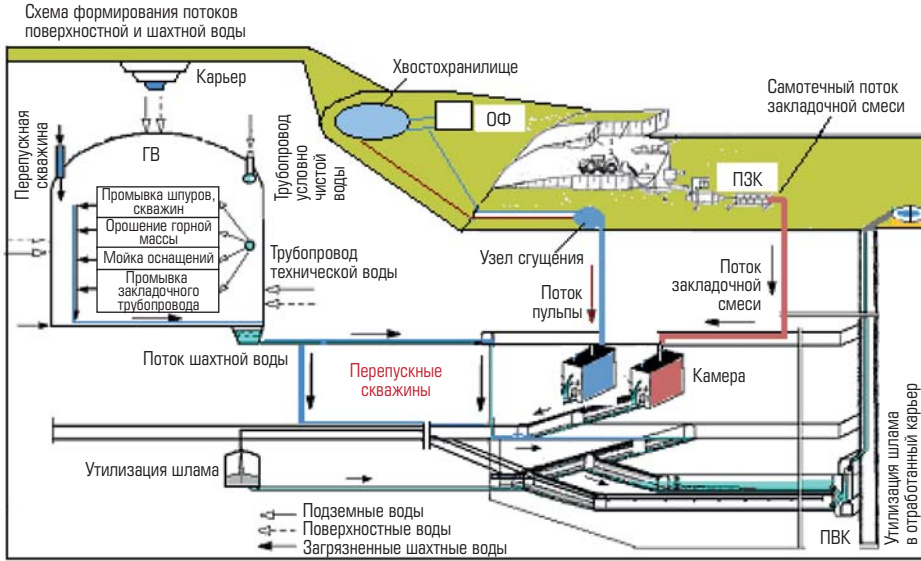


Рис. 2. Схема формирования потоков гидросмесей на открытых (карьерах) и в подземных горных выработках (ГВ) от поверхностного закладочного комплекса (ПЗК) и комплекса гидравлической закладки на основе сгущенных хвостов обогащения (узел сгущения), а также потоков осветленной шахтной воды, откачиваемой подземным водоотливным комплексом (ПВК) на поверхность

емой самотеком от поверхностного комплекса до закладываемых подземных камер [15].

В свою очередь, объемы закладочной смеси сопоставимы с объемами добываемой руды и объемом выдаваемых пород от проходки подготовительных и нарезных выработок, которые также являются резервом воспроизводства электроэнергии от потоков твердеющей закладочной смеси и подаваемой в выработанное пространство гидравлической закладки на основе хвостов обогащения руд.

Оценка энергетического потенциала и воспроизводимой мощности потоков гидросмеси

Величина энергетического потенциала \mathcal{E}_{i-n} (кДж) перепускаемых потоков шахтной воды, закладочной смеси и пульпы хвостов объемом V_{i-n} (м³) оценивается возможной извлекаемой мощностью N_{i-n} (кВт) и временем работы j -й ГЗУ по получению энергии i -й гидросмеси определенного состава и интенсивности в горно-технической системе подземных рудников:

$$\mathcal{E}_{i-n} = \sum_{ij} N_{i-n} t_{in}, \quad (1)$$

где N_{i-n} – расчетное значение воспроизводимой мощности $n_{j-й}$ установкой от движущегося потока гидросмеси, кВт; t_{in} – время прохождения объемов потоков гидросмеси заданной интенсивности и состава (шахтной воды, закладочной смеси или пульпы

хвостов обогащения) по перепускной водоотливной или закладочной скважине с высотными отметками h_i (м) между промежуточными горизонтами z_i , ч.

Оценка требуемых объемов потоков гидросмеси в горно-технической системе рудник – карьер – фабрика необходима для выбора и разработки конструкций применяемых ГЗУ малой мощности с рациональными параметрами рабочих колес.

Общеизвестно, что силой, осуществляющей работу гидротока в 1 с, является вес (масса) i -го состава гидросмеси (шахтной воды, закладочной смеси или пульпы хвостов), протекающей через перепускную или закладочную скважину и ГЗУ, т. е. воспроизводимая мощность потока гидросмеси N (Вт) на рассматриваемом участке.

Работа потока гидросмеси, проходящей по перепускной или закладочной скважине подземного рудника, и воспроизводимая мощность $N_{гсi}$ (Вт) гидроэлектростанции малой мощности определяются напором H_n – разностью геодезических уровней расположения скважины на верхнем $h_{вi}$ (м) и нижнем $h_{нi}$ (м) горизонтах, величиной расхода в единицу времени $Q_{гсi}$ перепускаемой по скважине гидросмеси и ее плотностью ρ и рассчитываются по формуле [12]:

$$N_{гсi} = \rho g (h_{вi} - h_{нi}) Q_{гсi} = \rho g Q_{гсi} H_{ni}, \quad (2)$$

где ρ – плотность гидросмеси, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $Q_{гс}$ – расход гидросмеси, протекающей через перепуск-

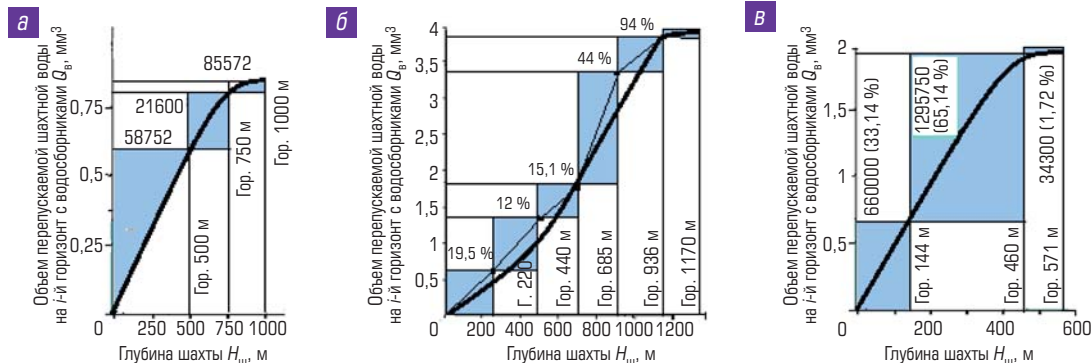


Рис. 3. Структура и распределение потоков водоотлива по горизонтам на Центральном Кочкарском (а), Гайском (б) и Учалинском (в) подземных рудниках в зависимости от глубины горных работ

ную или закладочную скважину, $m^3/ч$; H_n – напор гидросмеси в перепускной или закладочной скважине, м.

Поскольку вся энергия водного потока не может быть преобразована в электрическую, необходимо учесть потери напора в потоке по общепринятому в стационарных машинах общему (полному) КПД:

$$N_{швп} = \rho g Q_{швп} H_n \eta_{общ}, \quad (3)$$

где $\eta_{общ}$ – общий КПД гидрогенераторной установки малой мощности; $\eta_{общ} = 0,6 \div 0,95$ в зависимости от типа гидрогенератора; $\eta_{общ} = \eta_r \eta_o \eta_m$, где η_r , η_o , η_m – КПД, характеризующие, соответственно, гидравлические, объемные и механические потери в гидрогенераторных установках, %.

Энергетический потенциал $\mathcal{E}_в$ (кДж) потока пульпы хвостов определяется по формуле [2]:

$$\mathcal{E}_в = V_r (1 - K_k) (1 + \frac{1}{B}) g \gamma_n H_{cp} \eta_э, \quad (4)$$

где V_r – годовая добыча руды, m^3 ; K_k – выход вещества в концентрат, ед; B – отношение твердое/жидкое в подаваемой пульпе после сгущения, доли ед; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; γ_n – плотность, kg/m^3 ; H_{cp} – глубина разработки, м; $\eta_э$ – сквозной коэффициент полезного действия системы преобразования энергии потока пульпы хвостов в электрическую, доли ед.

Расчетное значение воспроизводимой мощности j -й ГЭУ с рабочим колесом n -го типа от движущегося потока шахтной воды: $N_n = \rho g H_{пн} Q_{вп}$, где ρ – плотность шахтной воды (для осветленной $\rho = 1000 kg/m^3$ и для загрязненной в среднем $\rho = 1050 kg/m^3$); g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; $H_{пн} = (h_{вп} - h_{нп})$, $h_{вп}$, $h_{нп}$ – отметки, соответственно, верхнего и нижнего уровней перепускной скважины, являющиеся отметками верхнего и нижнего промежуточного горизонтов или междуэтажных горизонтов рудника, м; $Q_{вп}$ – водоприток, проходящий через перепускную скважину, $m^3/ч$.

Соответственно, работа потока закладочной смеси будет равна: $A_{i-п} = V_{зп} H_{тп} \rho g$, где $V_{зп}$ – объем (m^3) закладочной смеси в закладочном трубопроводе заданного диаметра $D_{тп}$ (м); определяется как: $V_{зп} = \pi r_{тп}^2 H_{тп} H_{тп}$, где $r_{тп}$ – радиус закладочного трубопровода, м; $H_{тп} = h_{вп} - h_{нп}$.

Момент $M_{гр}$ (Н·м) на валу электрогенератора малой мощности

с диаметром рабочего колеса D_k (м) определяется как $M_{гр} = F_{смеси} r_{рк}$, где $F_{смеси}$ – сила тяжести гидросмеси в столбе 1 м цилиндрической трубы, H ; $r_{рк}$ – радиус рабочего колеса, м.

Тогда мощность $N_{ГЭУ}$ (кВт) ГЭУ для заданных условий: $N_{ГЭУ} = M_{гр} \omega_r$, где ω_r – угловая скорость двигателя ($\omega_r = 0,1047 n_r$), $рад/с$.

Следовательно, при сбросе потока закладочной смеси по закладочному трубопроводу с заданным диаметром $D = 0,13$ м с высоты этажа $H_{эт} = 60$ м ГЭУ малой мощности может потенциально воспроизвести энергию $N_{ГЭУ} = 20,4$ кВт.

Коэффициент полезного действия ГЭУ малой мощности складывается из потерь мощности в структурных элементах электромеханической системы (рис. 4).

Каскадная схема распределения ГЭУ малой мощности в рудничной сети

Распределение мощности энергии потока гидросмеси, перепускаемого по скважинам, осуществляется в генераторном режиме (см. рис. 4, б) с преобразованием энергии потока гидросмеси в электроэнергию с учетом всех потерь в элементах структурной схемы.

Каскадная схема последовательного съема на промежуточных горизонтах энергии потоков шахтной воды (рис. 5), объединяемых в общий водопоток на горизонте главного водоотлива определяет общее число ГЭУ малой мощности в шахте или на карьере: $n_{ГЭУ} = L_i / l_i$, где L_i – высота перепускной или закладочной скважины, заполненной потоком гидросмеси, м; l_i – вертикальная высота межгоризонтного потока шахтной воды, обеспечивающая воспроизводство минимально-допустимой мощности $N_{мин}$ (кВт) по экономическим показателям, м.

Для реализации энергетического потенциала потоков гидросмеси разработаны конструкции действующих моделей ГЭУ с электрогенераторами малой (до 100 кВт) мощности с прямоугольными лопастными, ковшовыми и продольно-осевыми рабочими колесами, проведены лабораторные исследования и построены эмпирические зависимости воспроизводимой электроэнергии от движущихся потоков гидросмеси, которые приведены в работах [15, 16].

Рекомендуемые к испытаниям рабочие колеса имеют следующие отличительные особенности:

- лопастное – с овальными концами прямолинейных лопаток и выемкой в сторону безударного выхода потока гидросмеси с лопатки. Лопатки на рабочем колесе устанавливают под углом 90° ,

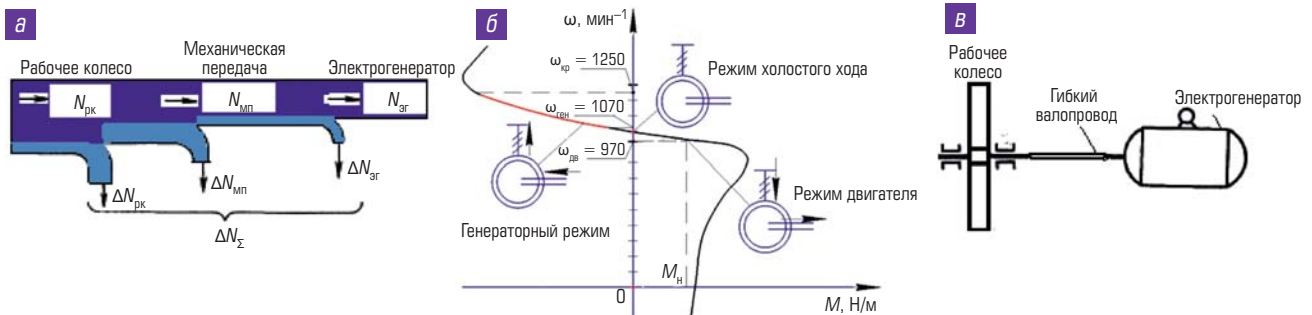


Рис. 4. Структурная схема распределения мощности от потока гидросмеси в генераторном режиме:

а – схема потерь мощности в структурных элементах электромеханической системы; б – механическая характеристика асинхронного двигателя; в – схема электромеханической системы с гибким валопроводом

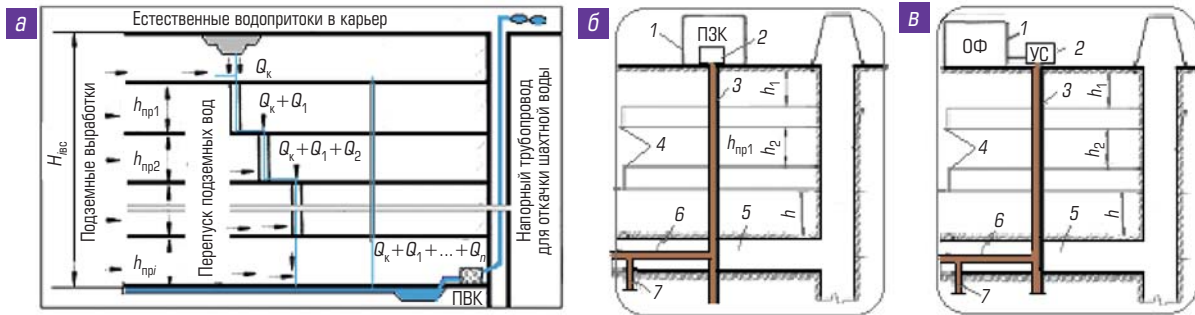


Рис. 5. Каскадная схема распределения ГЭУ малой мощности для воспроизводства энергии потока шахтного водоотлива (а) твердеющей закладочной смеси (б), пульпы хвостов обогащения руд (в):

1 – поверхностный закладочный комплекс (ПЗК) и обогатительная фабрика; 2 – смеситель на ПЗК и узел сгущения; 3 – закладочная скважина; 4 – горизонты съема энергии потока гидросмеси; 5 – закладочно-вентиляционный горизонт; 6 – горизонтальный закладочный трубопровод; 7 – устье вертикальной закладочной скважины, пробуренной в центр потолочины отработанной камеры

меньше или больше 90° к осевому отверстию рабочего колеса, насаженного под шпонку на вал электрогенератора или соединенных гибким валопроводом, не требующим точной центровки валов и имеющих $\eta \geq 0,6$;

- ковшовое – с разделением емкости ковша по середине на две секции, обеспечивающие направление движения потоков во внутреннюю полость ковша и суммирование усилий протекания потоков на выходе из каждой элементарной емкости ковша; обеспечивает удвоенное усилие воздействия каждого из раздвоенных потоков гидросмеси на внутреннюю полость ковша с $\eta \geq 0,92$;
- винтовое – имеет многолетний опыт практического применения на морских судах, конструктивно характеризуется геометрическими размерами обтекающей капсулы для размещения в ней электрогенератора малой мощности, обеспечивающего $\eta \geq 0,6$;
- осевые капсульные гидротурбины – с продольно совмещенным рабочим колесом и электрогенератором без промежуточной

механической передачи, обеспечивающие протекание потока гидросмеси без изменения направления движения с $\eta \geq 0,7 \div 0,75$.

Выработка электроэнергии от техногенных возобновляемых источников нестабильна во времени и зависит от многих природных и горнотехнических факторов, а шахтное оборудование должно быть запитано постоянно. Поэтому, если ГЭУ не работает или вырабатывает малое количество энергии, то напряжение в резервной схеме уменьшается, и схема питания шахтного оборудования автоматически подключается к шахтной сети посредством диодного моста VD либо инвертора UF6. Таким образом, шахтные энергопотребители будут обеспечены энергией в любой момент времени. Рассматривая вариант подключения инвертора UF6 вместо диодного моста VD, можно подпитывать шахтную сеть 380 В. АКС подключается контактором KM9 параллельно шине постоянного тока и накапливает излишнюю электроэнергию в периоды времени, когда часть потребителей отключена.

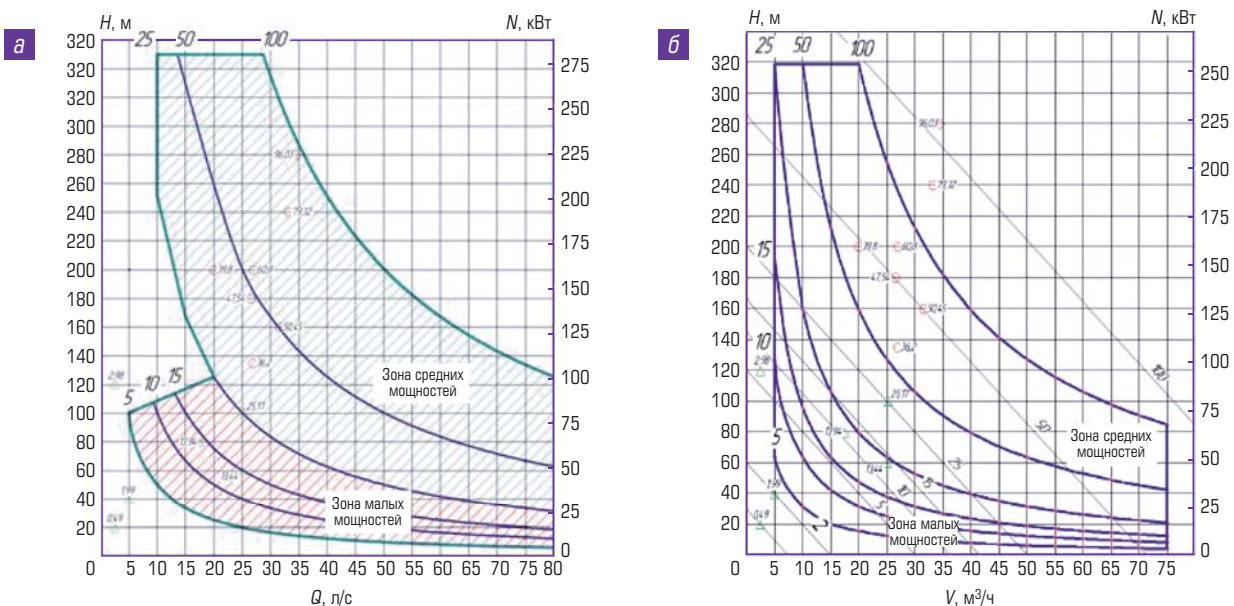


Рис. 6. Номограммы для определения воспроизводимой мощности и выбора ГЭУ малой мощности по параметрам рабочих зон при промышленном использовании ГЭУ, работающих на откачке шахтной воды (а) и закладочной смеси (б)

Для оперативного определения мощности ГЭУ, работающей на потоке шахтной воды, закладочной смеси и пульпы хвостов по результатам исследований построены номограммы (рис. 6).

По значениям установленной расчетной максимальной и минимальной мощности согласно номограмме на рис. 6 для различных сочетаний переменных и постоянных параметров с использованием формулы (3) рассчитывают воспроизводимую мощность j -й ГЭУ в зависимости от КПД ($\eta_{j, ГЭУ}$) рабочего колеса n -го типа в электромеханической системе. Это позволяет определить зону промышленного использования ГЭУ с рабочим колесом лопастного, винтового, ковшового и капсульно-осевого типа.

По значениям установленной максимальной и минимальной мощности ГЭУ и с учетом их распределения на горизонтах рудника уточняется общее число установок по глубине ведения горных работ.

Выводы

1. Количественная оценка объемов и интенсивности потоков гидросмеси позволяет заключить, что в горнотехнической системе рудник – карьер – фабрика циркулируют неравномерные потоки поверхностных и подземных загрязненных вод, твердеющей закладочной смеси и сгущенной пульпы хвостов обогащения. Они могут рассматриваться как источники техногенной возобновляемой энергии. Получение и преобразование энергии этих потоков гидросмеси в горнотехнической системе открытого или подзем-

ного рудника можно рассматривать как резервный источник электрической энергии для покрытия собственных нужд.

2. Предложена каскадная схема последовательного съема на промежуточных горизонтах энергии потоков гидросмеси и приведена методика оценки мощности рудничных потоков, с использованием которой построены номограммы для определения воспроизводимой мощности и выбора ГЭУ малой мощности по параметрам рабочих зон с целью промышленного использования осевой капсульной и роторной ГЭУ.

3. Для реализации энергетического потенциала потоков гидросмеси разработаны конструкции действующих моделей ГЭУ с электрогенераторами малой (до 100 кВт) мощности с прямоугольными лопастными, ковшовыми и продольно-осевыми рабочими колесами, проведены лабораторные исследования и построены эмпирические зависимости воспроизводимой электроэнергии от движущихся потоков гидросмеси.

4. Проверочные расчеты по предложенной методике подтвердили практическую возможность в горнотехнической системе открытого или подземного рудника воспроизводства электроэнергии на гидроэлектростанциях малой мощности.

Библиографический список

См. англ. блок. [РХ](#)

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 11, pp. 71–76
DOI: 10.17580/gzh.2017.11.13

Energy-efficient technologies in integrated mineral resources development: Prospects for application and estimate of parameters

Information about authors

M. V. Rynnikova¹, Head of Department, Professor, Doctor of Engineering Sciences, rynnikova@mail.ru

K. I. Strukov², Founder and President, Candidate of Engineering Sciences, information@ugold.ru

V. V. Olizarenko³, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

I. S. Turkin⁴, Chief Mechanical Engineer, Candidate of Engineering Sciences

¹ Institute of Integrated Mineral Development – IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² UGC Gold Mining Company, Chelyabinsk, Russia

³ Novosibirsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

⁴ LLC “UralEnergResurs”, Magnitogorsk, Russia

Abstract

The participation of renewable sources in the overall structure of energy resources is one of the key indications of progressiveness of an economy. In respect that the mining industry is the largest energy consumer in any country of the world, the authors analyze the application prospects and the parameters of energy-efficient geotechnologies in integrated mineral mining. It is found that in the course of geotechnological transformation of the subsoil, it is possible to compensate mining-consumed energy by means of its reproduction. It is proved that the highest potential of energy reproduction belongs to the downward hydraulic mixture gravity flows that circulate all-year-round and are represented by contaminated drainage water with the increased content of solid as well as by cemented and hydraulic backfill mixtures manufactured from ore mining and processing waste. Advancement in the renewable power generation in mining is connected with the introduction of low-capacity hydroelectric installations (HEI) with the parameters governed by mining conditions, inflow of water to levels in surface and underground mines and by spacing of sublevels and levels of water bypass. The article shows that water handling flows are the year-round source for renewable energy production using mine facilities. The authors propose a circuit of cascade energy intake from slurry flows at intermediate levels and offer a mine flow intensity evaluation procedure that has been used to plot nomograms to determine generating capacity of HEI and to select low-capacity HEI based on the parameters of areas of operation of axial bulb and rotary HEI. With an intent to produce energy from slurry flows, layouts are designed for the current models of HEI equipped with the low-capacity power generators (to 100 kW) with blade, bucket and longitudinally rotating impellers, the related laboratory tests are carried out and the empirical relationships between the recovered energy and the slurry flows are plotted. The output, performance and operating conditions are evaluated for each turbine in the course of recovery of energy from slurry flows of different viscosity, with the varied solid/liquid ratios, depending on the slurry flow head, infeed angle and the turbine location in a mine. The studies are carried out under budgetary funding of IPKON RAS, Topic No. 0138-2014-0001.

Keywords: energy-efficient geotechnologies, renewable energy sources, mining and technical system, slurry flows, water drainage, backfill, hydraulic turbine, generator.

References

- Trubetskoy K. N., Kaplunov D. R., Rynnikova M. V. Principles of substantiation of parameters of stable and ecologically balanced mastering of solid mineral deposits. *Conditions of stable functioning of mineral raw-material complex of Russia*. Moscow: Gornaya kniga, 2014. Iss. 2. pp. 3–10.
- Tinti F., Boldini D., Ferrari M., Lanconelli M., Kasmaee S. et al. Exploitation of geothermal energy using tunnel lining technology in a mountain environment. A feasibility study for the Brenner Base tunnel – BBT. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017. Vol. 70. pp. 182–203.
- Ghoreishi-Madiseh S. A., Hassani F. P., Abbasy F. Development of a novel technique for geothermal energy extraction from backfilled mine stopes. *The 11th International Symposium on Mining with Backfill*. Perth: Australian Centre for Geomechanics PP, 2014. pp. 61–72.
- Rodríguez R., Díaz M. B. Analysis of the utilization of mine galleries as geothermal heat exchangers by means a semi-empirical prediction method. *Renewable Energy*. 2009. Vol. 34, No. 7. pp. 1716–1725.
- Malolepszy Z. Modelling of geothermal resources within abandoned coal mines. *Upper Silesia, Poland: Geothermal Training Programme*. Grensásvegur, 1998. Report 8. pp. 217–238. Available at: <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-report/UNU-GTP-1998-08.pdf> (accessed: 15.04.2017).
- Bertani R. Geothermal power generation in the world 2005–2010 update report. *Geothermics*. 2012. Vol. 41. pp. 1–29.
- Kaplunov D. R., Rynnikova M. V., Radchenko D. N. Utilization of renewable energy sources in hard mineral mining. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2015. No. 1. pp. 88–96.
- Kaplunov D. R., Leyzerovich S. G., Tomaev V. K. Formation of energy during the underground stowing operations. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 4. pp. 62–66.
- Renewable energy sources: about the industry. Ministry of Energy of Russian Federation. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/489> (accessed: 15.04.2017).
- Popel O. S. Renewable energy sources in the regions of Russian Federation: problems and prospects. *EnergoSovet*. 2011. No. 5. pp. 22–26. Available at: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=210 (accessed: 15.04.2017).
- Ivanov V. M., Yurenkov V. N., Ivanova T. Yu., Zhdanov E. P., Kleyn G. O. About the method of calculation of a flow part of axial hydraulic turbines of low-power hydro-energetic units. *Polzunovskiy vestnik*. 2010. No. 4/2. pp. 61–69.
- Olizarenko V. V., Mingazhev M. M. Mine drainage during the processing of copper-pyritic deposits of the Southern Urals. Magnitogorsk: Izdatelstvo MGTU imeni G. I. Nosova, 2010. 252 p.
- Saraskin A. V., Gogotin A. A. Technology of backfilling with tailings. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 9. pp. 41–45. DOI: 10.17580/gzh.2017.09.08
- Cavalcante P. R. B., Palkovits F. Paste fill – a safety solution for pillar mining. *Past 2013: proceedings of the 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2013. pp. 443–456.
- Rynnikova M. V., Olizarenko V. V., Zubkov A. A., Mikhailchuk A. P. Investigation of processes of electric energy reproduction due to the using of moving masses energy in mining technical system of mine. *Combined geotechnology: stable and ecologically balanced mastering of soils: collection of proceedings of the VIII International Conference*. Moscow: Izdatelstvo MGTU imeni G. I. Nosova, 2015. pp. 106–107.