

для решения ряда экономических и социальных проблем региона и отрасли им необходима государственная поддержка в доработке запасов угля.

13. Обобщение результатов проведенных работ позволяет аргументировано утверждать, что техническая политика в угольной промышленности Украины должна базироваться на установлении приоритетов в развитии шахтного фонда.

Приоритеты должны устанавливаться в зависимости от мощностей, количества и качества промышленных запасов угольных пластов и базироваться на возможностях угольного предприятия обеспечивать надежное функционирование с параметрами, установленными, исходя из потребностей государства в угольной продукции.

14. Показано, что применение на шахтах групп а) и б) (п. 12) высокопроизводительных технологий угледобычи и способов проходки выработок с опорно-анкерным видом крепления позволит достигнуть высокого уровня добычи и ее прибыльности только в единственном варианте - при обеспечении надежности работы шахты в целом и отдельных элементов в частности. Для этого шахта должна располагать готовыми к выемке пластами мощностью 1,15-2,5 м с углами падения до 35^0 , она должна быть привлекательной для инвесторов по качеству угля, иметь удобное географическое местоположение для интенсивной его реализации, постоянно уделять внимание вопросам технологической дисциплины, иметь дееспособный аппарат управления, основанный на компьютеризованных системах сбора, анализа и прогноза основных характеристик жизнедеятельности шахты.

УДК 622.281.74

В.Г.Красник, Д.И.Аверкин

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Проаналізовано нові технології та прилади, які застосовуються у вугільній промисловості України за останні роки.

В настоящее время большие запасы высококачественных углей Донбасса сосредоточены в тонких забалансовых пластах мощностью от 0,5 до 0,8 м, разработка которых с использованием существующих технологий крайне затруднена. Данная задача может быть решена с использованием бурошнековой технологии выемки угля, которая позволяет разрабатывать эти пласты. При этом решаются важные

задачи сохранения рабочих мест на шахтах Госуглепрома и уменьшения негативных социальных последствий реструктуризации топливно-энергетического комплекса, а также проблема охраны окружающей среды. Наибольшим же преимуществом бурошнековой технологии является выведение рабочих из очистного забоя, что обеспечивает резкое снижение травматизма на 1000 т добытого угля.

В то же время одной из главных причин, сдерживающих широкое внедрение бурошнековой технологии, является отсутствие эффективных исполнительных органов бурошnekовых машин, которые могли бы обеспечивать стабильное бурение на длину 100 и более метров. Поэтому для их создания был выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, в результате которых были разработаны новые высокоэффективные исполнительные органы бурошnekовых машин и инструмент для их оснащения, которые обеспечивают более чем в 3 раза снижение энергоемкости бурения по сравнению с существующими бурами и практически исключают увод буров.

На первом этапе создания инструментов выполнено математическое моделирование процесса контактного взаимодействия системы режущих элементов бурового инструмента с горной породой.

Контактное взаимодействие инструмента с горной породой можно охарактеризовать рядом геометрических, механических и триботехнических параметров. Контактное взаимодействие инструмента с горной породой можно охарактеризовать рядом геометрических, механических и триботехнических параметров. К числу геометрических параметров относятся:

Механические характеристики породного массива характеризуются модулем упругости E и коэффициентом Пуассона ν .

При взаимодействии с породой резцы рассматриваются как жесткие тела, которые, однако, могут изнашиваться. Поэтому условие контакта резца с породой может быть представлено как сумма перемещений за счет износа резцов $\eta_i^*(t)$ и перемещений $\eta_i(t)$ за счет деформации и разрушения породы в виде соотношения:

$$\eta_i^*(t) + \eta_i(t) = C(t)$$

Основываясь на результатах работ Коробчинского, Панасюка, Андрейкива закон изнашивания резцов принимался в виде степенной зависимости скорости изнашивания $\frac{d\eta_i^*}{dt}$ от давления на резце $p_i(t)$ и его линейной скорости скольжения V_i :

$$\frac{d\eta_i^*}{dt} = K p_i^\alpha V$$

где K, α, β - триботехнические характеристики пары, определяемые экспериментально.

Для определения перемещений породы рассмотрена контактная задача о взаимодействии системы буровых резцов с горной породой. При этом задняя поверхность буровых резцов может быть представлена в виде прямоугольной площадки шириной $2a$ и длиной $2b$.

Применяя обычный для теории множественного контакта подход, считалось, что упругие перемещения породы под резцом складываются из перемещений W_{1i} , обусловленных действием давления P_i , и дополнительных перемещений W_{2i} от действия сосредоточенных сил P_j , действующих на остальные резцы системы в точках с координатами (X_i, Y_i) ($i \neq j$).

При допущении, что порода забоя может быть представлена в виде изотропного упругого полупространства, механические свойства которого описываются модулем упругости E и коэффициентом Пуассона ν , выражение для перемещений $W_{1i}(\xi)$ при выполнении условия $\delta \ll a$, как показано в работах Л.А.Галина, имеет вид:

$$W_{1i}(\xi) = \frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} \frac{a}{\delta} \lg \frac{p_i^*(\xi)}{\delta}, \quad (1)$$

где p_i^* - давление на единицу длины; a дополнительные перемещения $W_{2i}(\xi)$ границы полупространства определяются на основании формулы Буссинеска:

$$W_{2i}(\varepsilon) = \frac{1-\nu^2}{\pi E} \sum_{j=1}^N \frac{P_j(1-\delta_{ij})}{\sqrt{(x_{ij}-\varepsilon)^2 + y_{ij}^2}}, \quad (2)$$

где δ_{ij} - символ Кронекера

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{для } i \neq j \\ 1 & \text{для } i = j \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{ij} = | \cos \alpha_i (x_i - x_j) + \sin \alpha_i (y_i - y_j) | \\ y_{ij} = | \sin \alpha_i (x_i - x_j) - \cos \alpha_i (y_i - y_j) | \end{cases}$$

Из полученных соотношений и условий контакта i -го резца с забоем

$$W_{1i}(\xi) + W_{2i}(\xi) = \eta_i, \quad (3)$$

где η_i - внедрение в упругое полупространство i -го резца, следует выражение для давления $p_i^*(\xi)$:

$$p_i^*(\xi) = \frac{\pi E}{2(1-\nu)} \frac{\eta_i}{\lg(a/\delta)} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \frac{P_j(1-\delta_{ij})}{\sqrt{(x_{ij}-\varepsilon)^2 + y_{ij}^2}} \frac{1}{\lg(a/\delta)} \quad (4)$$

После интегрирования (4) и последующих преобразований получим соотношение между внедрением η_i и действующими на резцы нагрузками P_i

$$\eta_i^* = q_i + \frac{1}{2\lg(a/\delta)} \sum_{j=1}^N (1-\delta_{ij}) q_j \ln \frac{x_{ij} + a + \sqrt{(x_{ij} + a)^2 + y_{ij}^2}}{x_{ij} - a + \sqrt{(x_{ij} - a)^2 + y_{ij}^2}} \quad (5)$$

$$\text{Здесь } q_i = P_i \cos \varphi_i / P, \eta_i^* = \eta_i / \eta_o, \eta_o = \frac{P(1-\nu^2)}{\pi E a \cos \varphi_i} \lg(a/\delta),$$

где η_o - внедрение в упругое полупространство резца, имеющего затупление по задней поверхности в виде узкого прямоугольника со сторонами $2a$ и 2δ под действием силы P .

Как следует из соотношения (5) внедрение произвольного i -го резца зависит от распределения осевого усилия P между всеми резцами. При заданной подаче или полной нагрузке соотношения (5) служат для определения нагрузок, действующих на каждый резец бурового инструмента.

Полученные выше уравнения были использованы для исследования кинетики изнашивания системы режущих элементов многолезвийного бурового инструмента. Предполагалось, что область контакта отдельного режущего элемента представляет собой узкий прямоугольник, имеющего в начальный момент времени длину $2a$ и ширину 2δ . Примем во внимание имеющее место при изнашивании резца соотношение, определяющее изменение ширины площадки контакта $\delta_i(t)$:

$$\delta_i(t) = \delta_0 (1 + H_i(t)/h_0), \quad (6)$$

где $H_i(t)$ - линейный износ i -го резца.

Соотношение (6) непосредственно следует из геометрических соображений, если моделировать резец как прямую призму, в основании которой лежит трапеция со сторонами δ_0 , $\delta_i(t)$ и высотой $H_i(t)$ (h_0 - расстояние от меньшего основания трапеции до точки пересечения ее боковых сторон).

Скорость линейного износа i -го резца $H_i(t)$ определяется следующим образом:

$$H_i(t) = K \left[\frac{P_i(t)}{a\delta_i(t)} \right]^\alpha \omega^\beta r_i^\beta . \quad (7)$$

Здесь $P_i(t)$ - нагрузка, действующая на i -ый режущий элемент в направлении, перпендикулярном поверхности трения (для упрощения расчетов предполагается, что нагрузка равномерно распределена по площадке контакта), $r_i = (x_i^2 + y_i^2)^{1/2}$ - расстояние от оси вращения до центра i -го резца.

Для расчета распределения нагрузок $P_i(t)$ между режущими элементами воспользуемся уравнениями, которое в данном случае с учетом (2) примет вид:

$$\frac{\pi E a [C(t) / \cos \varphi_i - H_i(t)]}{(1 - \nu^2) l g a / \delta_i(t)} = q_i + \frac{1}{2 l g a / \delta_i(t)} \sum_{j=1}^N (1 - \delta_{ij}) q_j \times$$

$$\times \ln \frac{x_{ij} + a + \sqrt{(x_{ij} + a)^2 + y_{ij}^2}}{x_{ij} - a + \sqrt{(x_{ij} - a)^2 + y_{ij}^2}} \quad (8)$$

Соотношения (5)-(8) совместно с условием равновесия представляют собой полную систему уравнений для исследования кинетики изнашивания режущих элементов многолезвийного бурового инструмента и перераспределения нагрузок между ними в процессе работы.

Для проверки адекватности разработанной математической модели проведены эксперименты по изучению закономерностей распределения нагрузки в породоразрушающем инструменте. Исследования осуществлялись на специальном буровом стенде, созданном на базе бурильно-крановой машины. В качестве бурового инструмента использовался специальный экспериментальный бур, оснащенный тензорезцами, перемещение которых в пазах лопастей позволяет изменять сетку резания.

При бурении блоков горной породы измерительной системой контролировались составляющие силы резания на отдельных породоразрушающих элементах, осевая нагрузка на буровом инструменте, расход активной мощности электродвигателя вращения. Кроме того, фиксировались время бурения, количество оборотов бурового инструмента, скорость подачи, углубка скважины, износ породоразрушающих резцов. Снимаемая с тензорезцов информация после преобразования в аналого-цифровом преобразователе поступала в микро-

ЭВМ, где обрабатывалась по заданным алгоритмам и поступала на регистрирующее устройство.

Бурение осуществлялось по песчанику Требовлянского месторождения крепостью $f=6$ по Протодюконову ($\sigma_{сж} = 80$ МПа, $a = 27$ мг). Скорость подачи и частота вращения бурового инструмента принимались равными соответственно 0,01 мм/об и 43 мин. Расстояние от центра резцов до оси вращения составляло 53 мм, 106 мм, 154 мм, 204 мм и 250 мм.

Анализ полученных результатов показывает, что зависимости изменения составляющих силы резания и величины давления от расстояния от оси вращения имеют гиперболический характер, не зависящий от величины приложенной нагрузки. Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных показывают, что их расхождение не превышает 14%, что говорит о справедливости полученной математической модели и возможности ее применения для моделирования процесса разрушения горных пород резцовым инструментом.

Основываясь на результатах выполненных аналитических и экспериментальных исследований, был разработан ряд оригинальных конструкций бурового инструмента, учитывающих особенности распределения нагрузки на его породоразрушающих элементах. При этом для снижения напорного усилия буровой машины центральные резцы максимально удалялись от оси вращения, образуя керн в центральной части забоя, который в дальнейшем разрушался керноломателем, а оставшаяся часть забоя поражалась периферийными резцами, удаленными друг от друга на расчетное расстояние. В результате достигнуто снижение энергоемкости процесса разрушения породного массива, что одновременно позволило снизить износ бурых резцов.

Испытания созданных исполнительных органов бурошнековых машин, проведенные на шахте “Моспинская” ГХК “Донуголь” и на шахте “Киселева” ГХК “Торезантрацит”, показали их высокую эффективность работы, что позволило повысить среднесуточную добычу угля до 150 тонн. При этом максимальная глубина бурения составляла 85 м. Расчеты показывают, что бурошнековый комплекс БШК-2Д, оснащенный созданными исполнительными органами, может обеспечить бурение скважин на глубину до 150 м. Реализация его возможностей позволяет повысить производительность бурошнековой машины более чем на 50% и даст возможность с высокой эффективностью добывать забалансовые запасы высококачественного угля.