

**СТРУКТУРНО – МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПОДРАБОТАННОГО ГОРНОГО МАССИВА ПРИ
«МОКРОЙ» КОНСЕРВАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

В статті досліджено характер виникнення техногенної тріщинуватості в відпрацьованому гірському масиві, дано визначення параметрів зони водопровідних тріщин, для врахування цих особливостей при дослідженні активізації геомеханічних процесів в масиві гірських порід при затопленні виробленого простору з застосуванням «мокрої» консервації вугільних шахт.

**STRUCTURAL – MECHANICAL FEATURES EARN ROCK MASS AT
"WET" CONSERVATION OF COAL MINES**

The article examined character formation of technological fracture in the rock mass earn, we define the parameters of water bearing zone fractures to account for these features in the study activation of the geomechanical processes in rock mass in the sinking of developed space with the use "wet" conservation of coal mines.

Массовое закрытие отработавших запасы угля или нерентабельных шахт в современных экономических условиях привело к ряду серьезных технических и экологических проблем. Во-первых, при закрытии шахт с последующим затоплением выработанного пространства происходит резкое изменение гидрогеологического режима в прилегающем горном массиве, загрязнение подземных и приповерхностных вод, подтопление территории над шахтным полем. Во-вторых, будет происходить поднятие уровня шахтных вод и затопление выработанного пространства, сопровождающееся увлажнением горных пород и изменением их физико-механических свойств [1, 3]. При этом уменьшается устойчивость пород над выработанным пространством и возобновляются процессы их обрушения и сдвижения, включая земную поверхность. К настоящему времени геомеханические процессы происходящие, в горном массиве в результате затопления выработанного пространства изучены не достаточно.

Рассмотрим одну из особенностей техногенного изменения структурно – механических свойств горных пород. При проведении очистных работ в горном массиве происходит нарушение его физической сплошности, следовательно, в нем образуются структурные дефекты. К таким видам дефектов можно отнести естественную трещиноватость горных пород, что связана с особенностями их образования и техногенную трещиноватость, которая образуется в результате влияния воздействия различных технологических мероприятий на горный массив.

Рассмотрим процессы изменения трещиноватости горных пород, чтобы в дальнейшем учесть эти факторы при затоплении выработанного пространства.

Горные породы представляют собой естественные агрегаты более или менее постоянного состава и строения, сформировавшиеся в результате геологических процессов и залегающие в земной коре в виде самостоятельных литологи-

ческих разностей, механические свойства которых характеризуются свойствами образца горной породы [2].

При рассмотрении характеристики горных пород необходимо учесть их механические свойства - класс физических свойств, характеризующих поведение (состояние) пород в условиях различных механических силовых воздействий.

После затопления выработанного пространства шахтными водами система образовавшихся трещин заполняется водой, что в дальнейшем отражается на физико-механические свойства массива горных пород. Эти необходимо учитывать при исследовании активизации геомеханических процессов в нем.

В работах различных авторов [4, 8], механизм деформирования слоистого массива разбит в следующей последовательности. Когда происходит прогиб слоя в нем появляются растягивающие напряжения, при этом местоположение их максимальных значений совпадает с местоположением точек, имеющих максимальную кривизну. По мере увеличения пролета растет прогиб слоя и одновременно происходит перемещение точек с максимальными кривизной и растягивающими напряжениями. При определенной величине пролета растягивающие напряжения достигают предела прочности пород на разрыв. На верхней и нижней поверхности слоя начинают появляться поперечные трещины.

Дальнейшее увеличение пролета ведет к соответствующему росту растягивающих напряжений и развитию трещин. Но поскольку одновременно меняется местоположение точек с максимальной кривизной, меняется и местоположение трещин, т.е. появляются новые и закрываются старые, при этом глубина прорастания каждой последующей трещины больше предыдущей. Так происходит до тех пор, пока кривизна слоя, раскрытие и глубина трещины не достигнет своих максимальных значений, что обычно имеет место при полной подработке слоя. После этого увеличение пролета слоя не ведет к росту размеров трещин, а вызывает лишь изменение их местоположения. Одновременно на верхней поверхности слоя начинает меняться знак деформаций, т.е. положительная кривизна (выпуклость) и растягивающие напряжения меняются на отрицательную кривизну (вогнутость) и сжимающие напряжения. Аналогично на нижней поверхности слоя, сжимающие напряжения меняются на растягивающие. Отсюда суммарная глубина трещины (глубина разрушения слоя) будет равна сумме глубин трещин, идущих от верхней и нижней границ слоя. Если глубина каждой из слагаемых трещин будет равна толщине слоя, т. е. последний будет рассечен полностью на всю его толщину.

И хотя трещина в верхней половине слоя будет к этому времени закрыта, сплошность слоя не восстанавливает его целостности.

В соответствии с изложенным механизмом деформирования слоистого массива оценка состояния слоя сводится, в основном, к определению суммарной глубины трещин в различных его сечениях. Размер выработанного пространства, при котором происходит наибольшее развитие первичных трещин в слое, происходит при полной его подработке [5, 6].

В работе [7] изучалась трещиноватость горного массива по данным разведочного бурения. Анализируя случаи исчезновения промывочной жидкости из геологоразведочных скважин, пробуренных через подработанный массив гор-

ных пород, следует учитывать способ управления кровлей, время, прошедшее с момента обрушения кровли до вскрытия выработки скважиной, подработанность массива пород - полная или неполная. Для определения степени подработанности применяется специальный коэффициент n , который определяется как отношение фактической длины выработки к минимальной ее длине, вызывающей полную подработку. Различают коэффициент подработанности по падению - n_1 и по простиранию n_2 . Если $n_1 \geq 1$ и $n_2 \geq 1$, то подработка полная. При неполной подработке возможно зависание пород кровли над выработкой, и скважина в этом случае вскроет непосаженную выработку. При пластичных породах кровли и полной подработке скважина может вскрыть обрушенные породы различной степени уплотнения в зависимости от того, сколько времени прошло после выемки угольного пласта.

По данным Л. М.Ивачева [7] в антрацитовых районах Донбасса средняя высота зоны техногенной трещиноватости над отработанными лавами составляет 12-кратную вынимаемую мощность пласта. Трещины пересекают один-два породных слоя. Вполне естественно, что эти данные имеют ориентировочный характер и в них отсутствует анализ геомеханических процессов, происходящих в породах кровли.

На основе анализа [7] более 100 случаев исчезновения промывочной жидкости из скважин, пробуренных через подработанный горный массив в Донбассе и Кузбассе, установлено, что на высоту зоны водопродящих трещин (H_m) над выработками неглубокого заложения, оказывает влияние глубина распространения выветренных пород. При мощности выветренных пород до 82 м исчезновение промывочной жидкости происходит на всю глубину, т.е. на $H = 30$ м, при давности отработки свыше 50 лет. Кроме этого, на величину H_m оказывает влияние вынимаемая мощность угольного пласта m , литологический состав пород кровли, мощность отдельных слоев пород, в том числе водоупорных. С увеличением мощности слоя породы, залегающего над выработкой, уменьшается высота зоны водопродящих трещин. При вынимаемой мощности пласта m от 0,5 м до 1,5 м и наличии в непосредственной кровле слоя пород, мощностью в 10 и более раз превышающей мощность пласта, зона обрушения не образуется. Исчезновение промывочной жидкости отмечается только над самой выработкой и на расстоянии от нее до 2 м.

Для определения H_m предложена функциональная зависимость вида:

$$H_m = f(m, 1/l_c) \pm \xi, \quad (1)$$

где m $1/l_c$ - параметры, ξ - погрешность измерений.

Разработана линейная математическая модель вида:

$$H_{mвыч} = v_0 + v_1/l_c + v_2 m \pm \xi, \quad (2)$$

где v_0 - постоянное число, м; v_1 и v_2 - коэффициенты, которые определяются с применением регрессионного анализа.

Для этого породы кровли условно были разделены на 4 типа :

1 тип - над выработкой залегает мощный слой ($l_c \geq 10 \text{ м}$) сланцевого песчаника, песчаника или известняка;

2 тип - над выработкой залегает мощный слой ($l_c \geq 10 \text{ м}$) песчано-глинистого, глинистого сланца или аргиллита;

3 тип - над выработкой залегает, чередуясь между собой слой ограниченной мощности ($l_c \leq 5 \text{ м}$);

4 тип - над выработкой залегает слой ограниченной мощности, а выше его мощный слой алевролита или песчаника.

Для этих типов пород получены численные значения коэффициентов:

$$1 \text{ тип } H_{m \text{ выч}} = 2,06 + 14,85/l_c + 8,01m \pm \xi,$$

$$2 \text{ тип } H_{m \text{ выч}} = 3,13 - 1,77/l_c + 3,47m \pm \xi,$$

$$3 \text{ тип } H_{m \text{ выч}} = 21,96 - 8,53/l_c - 0,02m \pm \xi,$$

$$4 \text{ тип } H_{m \text{ выч}} = 7,83 + 0,63l_g/l_n - 1,09m \pm \xi,$$

где l_g – мощность второго слоя пород кровли, залегающего над выработкой; l_n – мощность нижнего породного слоя, залегающего непосредственно над очистной выработкой.

Особо отмечается влияние на размеры зоны трещиноватых пород и распространение промывочной жидкости при наличии над выработкой мощного водоупорного (аргиллит или глинистый сланец) слоя пород.

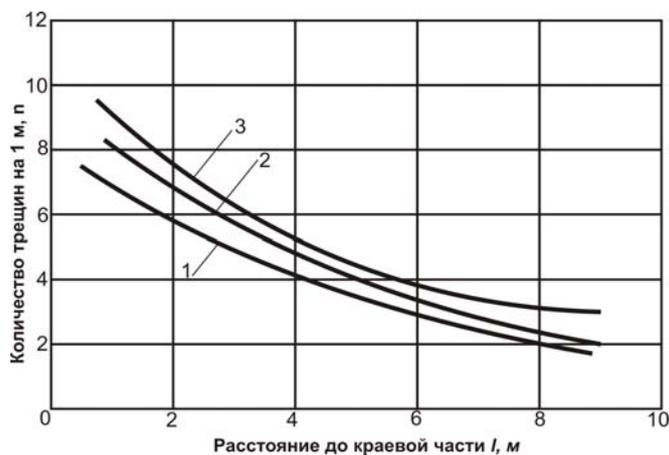
Для определения величины l_c также предложена эмпирическая формула:

$$l_c = 3,48 + 1,41/h + 0,98m \pm 10\%. \quad (3)$$

Угольные пласты в процессе своего генезиса подвергаются действию повышенных напряжений. В результате они и вмещающие породы оказываются разбитыми системой или несколькими системами трещиноватости ориентированных, как правило, нормально к плоскости напластования. В процессе отработки угольного пласта в его краевой части под действием зоны опорного давления формируется система техногенных трещин, которые, обычно, ориентированы примерно нормально к плоскости напластования и параллельно линии очистного забоя. Расстояние между трещинами составляет от нескольких сантиметров до метров.

Исследования трещиноватости боковых пород и пласта были выполнены на шахте “Торецкая” на пласте k_8 “Каменка”. Для этого из штрека по нормали к пласту (угол падения пласта составляет 38°) бурились скважины на глубину 12 м с отбором керна. В результате изучения отобранного керна выявлена система эндогенной трещиноватости с шагом 0,8 - 0,9 м. В угольном пласте выявлена система трещин, расположенных под углом 87° к напластованию и шагом 0,5-0,6 м.

При ведении горных работ с помощью длинных очистных забоев в краевой части пласта формируются зоны опорного давления. В них действуют повышенные напряжения, которые больше первоначальных в 2 - 3 раза, и в случае, когда они превышают предел прочности угля, в краевой части происходит образование новых трещин с интенсивностью до $10 - 12 \text{ м}^{-1}$ рис. 1.



1 – через 24 часа; 2 – через 120 часов; 3 – через 240 часов
 Рис. 1 – Развитие трещиноватости угля в краевой части пласта

В процессе выемки угольного пласта происходит не только перераспределение напряжений в окружающем выработку горном массиве, но в сдвигание приходят породы почвы и кровли. В результате образуются трещины расслоения, которые являются проводниками дренируемой воды. Зона трещиноватости пород находится в прямой зависимости от влияния ведения очистных работ и в обратной зависимости от крепости разрушенных пород. По мере удаления от подрабатываемого пласта трещиноватость уменьшается по экспоненциальной зависимости рис. 2.

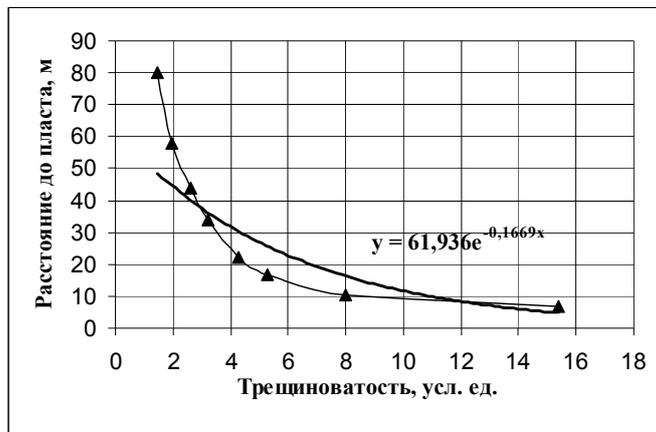


Рис. 2 – График зависимости трещиноватости от расстояния до разрабатываемого пласта

В результате затопления выработанного пространства шахтными водами при «мокрой» консервации происходит и увлажнение окружающего горного массива, причем породы кровли, которые ранее подвергались подработке и нарушены трещинами, увлажняются наиболее интенсивно.

В массиве горных пород образуются участки зоны водопроводящих трещин. Это часть толщи, в которой при выемке пластов образуются нормально-секущие трещины, сообщающиеся с выработанным пространством. В результате образуется область, где наблюдается совокупность трещин отслоения и нормально секущих трещин в подрабатываемой толще горных пород, сообщающихся с выработанным пространством разрабатываемого пласта [6, 7]. Водопроводящими трещинами принято считать техногенные трещины, которые пересекают водонос-

ные и относительно водоупорные пласты и гидравлически активно связаны с выработанным пространством [9].

Исследование высота зоны распространения водопроводящих трещин (ЗВТ) необходима для рассмотрения вопросов образовавшихся гидравлических связей при «мокрой консервации» шахт.

В табл. 1 представлены данные величин зоны проводящих трещин для различных горногеологических условий. Проанализировав данные, высоту (ЗВТ) можно связать со степенью метаморфизма и частично - со способом управления кровлей [4, 6, 9].

Таблица 1 - Размеры зоны водопроводящих трещин

№ п/п	Марки угля	Способ управления кровлей	Зона водопроводящих трещин с учетом вынимаемой мощности пласта, m
1	А	Полное обрушение кровли	52 m
2	А	Частичная закладка	44 m
3	ОС	"_"	70 m
4	Ж	Полное обрушение кровли	74 m
5	К	"_"	78 m
6	Д	"_"	136,8 m
7	Г	"_"	124,8 m

Предполагается что с увеличением степени метаморфизма вмещающих пород высота (ЗВТ), увеличивается. Это объясняется следующими причинами:

- с увеличением степени метаморфизма глинистые породы способные к набуханию, эту способность теряют;
- при процессах деформирования в глинистых породах трещины могут не образовываться, так как породы имеют хорошую пластичность;
- с ростом степени метаморфизма породы становятся более хрупкими так как растет отношение пределов прочности на сжатие и растяжение;
- с ростом степени метаморфизма пород уменьшается зона сжатия при шарнирном деформировании отдельного слоя или пачки слоев и уменьшаются критические деформации вдоль напластования, что приводит к образованию водопроводящих трещин в слое.

В научных публикациях, посвященных рассматриваемому вопросу, отмечается также, [8] что существенное влияние на величину водопроводящих трещин оказывают протяженность выработанного пространства, а именно коэффициент подработанности.

Наблюдается, что высота зоны повышенной техногенной трещиноватости пород над выработанным пространством, может достигать значения в 30 мощностей вынутаго пласта. Это объясняется тем, что увлажненные породы и угли отличаются от неувлажненных пониженными значениями предела прочности на одноосное сжатие и растяжение. Шахтные воды слабощелочные ($Ph = 7,85 - 8,00$) очень жесткие, вспенивающиеся, сильно агрессивны к бетонам и металлическим конструкциям. Такие свойства воды делают её своеобразным раствором, которые, как известно, способствуют интенсивному прорастанию трещин,

в угле и горных породах. При этом будет происходить пропитка горного массива водой, как по магистральным трещинам, так и по микротрещинам. В зонах повышенного горного давления физико-механические свойства угольных пород на порядок меньше, чем в зонах разгрузки, следовательно, над выработанным пространством в лавах, в деформированном породном массиве будет происходить наиболее интенсивно процесс увлажнения и прорастания новых трещин. Вследствие чего физико-механические свойства горного массива в области увлажнения будут изменяться.

В соответствии с этим предлагается следующая формула для определения высоты зоны водопроводящих трещин:

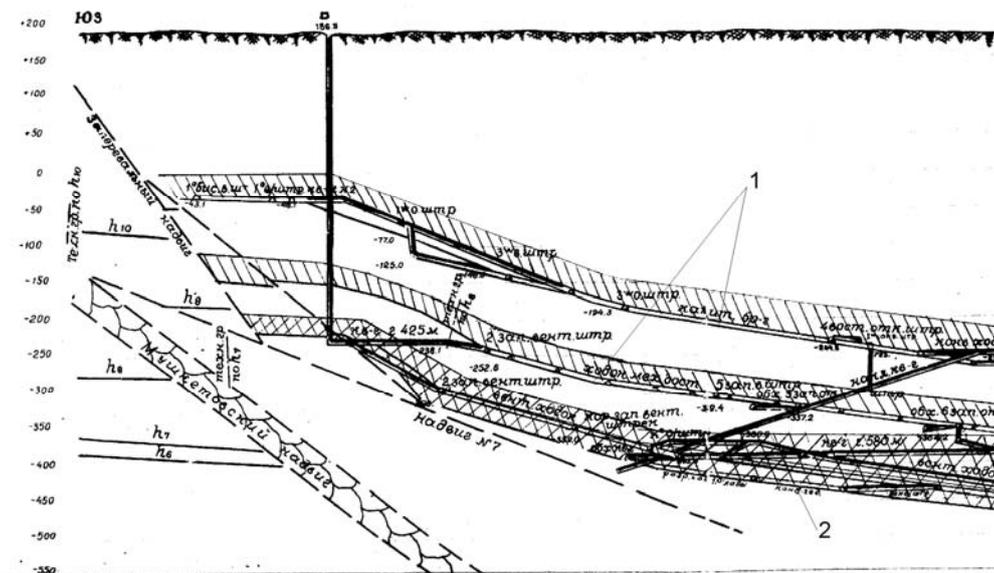
$$H_T = K_n \sqrt{m \cdot \exp(-A)} \quad (4)$$

где K_n – коэффициент подработанности массива; m – мощность разрабатываемого пласта; A – содержание пород глинистого состава (алевролитов, агреллитов, глинистых сланцев и пр.) в долях от подработываемой толщи.

Для исследований был выбран Донецко-Макеевский район, ПО «Донецк-уголь» ш/у «Донбасс» ш. «Заперевальная № 2» и рассмотрены зоны трещиноватости горных пород над выработанным пространством.

При выемке угля в очистном забое пласт h_{10} , способ управления кровли осуществлялся полным обрушение пород в выработанное пространство. По мере увеличения площади выемки процесс деформирования пород кровли и образования трещин распространяется все дальше и дальше и в какой-то степени может достигнуть поверхности. Высота зоны трещиноватости пород кровли может составлять от 20 до 30 мощностей вынутаго пласта. При затоплении выработанного пространства в результате «мокрой» консервации шахты намокание горного массива наиболее интенсивно происходит в зонах влияния очистных выработок. Анализ горногеологических и горнотехнических условий шахты «Заперевальная № 2» показал, что пласты, как правило, отрабатывались лавами длиной 120 – 160 м. Учитывая тот факт, что для охраны штреков оставлялись угольные целики размерами 4 – 6 м, следует предположить, что процесс деформирования и обрушения пород кровли с образованием системы трещин проходил в этих условиях менее интенсивно и высота зоны трещиноватости меньше.

Проанализировав породы междупластья установлено, что наличие (до 70 %) глинистых и песчано-глинистых сланцев, ведет к тому, что эти породы деформируются более пластично, чем песчаники. В этих условиях трещины будут также заполняться глинистым веществом из сланцев, что уменьшает высоту зоны трещиноватости. Поэтому высоту зоны трещиноватости можно оценить в 30 мощностей вынутаго пласта. На рис. 3 представлена схема образования системы водопроводящих трещин над отработанными пластами ш. «Заперевальная № 2». Необходимо также учитывать угол падения пласта, т.к. с увеличением углов падения картина сдвижений массива существенно изменяется.



1 – зоны образования водопрводящих трещин;

2 – наиболее интенсивная зона водопрводящих трещин.

Рис. 4 – Схема образования системы трещин над отработанными пластами (схема вскрытия) ш. «Заперевальная № 2».

При соединении зоны трещиноватости с выработанным пространством вышележащего пласта в случае затопления будет создаваться единая система, в пределах которой намокание горных пород будет происходить весьма интенсивно.

По шахте «Заперевальная № 2» по пластам h_8 , h_7 , h_6 будет наиболее обширная зона образования трещин. При затоплении выработанного пространства вследствие образования зон повышенной трещиноватости в горном массиве образуются зоны сильно увлажненных горных пород и зоны менее увлажненных (поскольку при затоплении горного массива вода будет, так или иначе, проникать во все породы). Такие изменения в структуре горного массива могут вызвать напряжения в нем, что приведет к активизации процессов деформирования горных пород, в том числе и в динамической форме.

Выводы

1. После затопления выработанного пространства шахтными водами система образовавшихся трещин заполняется водой, что в дальнейшем отражается на физико-механические свойства массива горных пород.

2. Зона трещиноватости пород находится в прямой зависимости от влияния ведения очистных работ и в обратной зависимости от крепости разрушенных пород.

3. Основными факторами, оказывающими влияние на высоту зоны водопрводящих трещин, являются:

- мощность обрабатываемого пласта; прочность вмещающих пород или степень метаморфизма углей; процентное содержания глинистых пород; последовательность расположения в подработанной толще водопрводящих и водоупорных слоев; угол падения слоев горных пород; глубина разработки; многократность подработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. - М.: Недра, 1980. – 320 с.
2. Баклашов И.В. Механика горных пород / И. В. Баклашов Б.А. Картозия. - М.: Недра, 1975. – 272 с.
3. Черняк И. Л. Управление состоянием массива горных пород / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. - М.: Недра, 1995. - 395 с.
4. Мэркс И. Горная механика / И. Мэркс, Г. Юнгниц. Углетехиздат, 1957. – 756 с.
5. Земисев В. Н. Расчеты деформаций горного массива / В. Н. Земисев - М.: Недра, 1973. - 144 с.
6. Ануфриев В. Е. Влияние трещиноватости и напряженного состояния горного массива на безопасность и ТЭП работы очистных забоев / В. Е. Ануфриев, С. А. Батугин, А.А. Боев, Л.А. Орлов // Перспективы прогнозирования горногеологических условий разработки угольных пластов Донбасса. - М.: 1975. - С.112-114.
7. Ивачев Л.М. Борьба с поглощениями промывочной жидкости при бурении геологоразведочных скважин. / Л. М. Ивачев - М.: Недра, 1982. - 156 с.
8. Иофис М.А.. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М. А. Иофис, А.И. Шмелев - М.: Недра, 1985. - 248 с.
9. Питаленко Е. И. Геомеханические процессы отработки крутых пластов: новые исследования и решения / Е. И. Питаленко, С. Б. Кулибаба, Ю. Н. Гавриленко, М. Г. Тиркель, Ю. А. Пивень – Донецк, 2007. – 382 с.

УДК 622.794.002.2:622.742:621.928.028

Д-р техн. наук Е.Л. Звягильский,
канд. техн. наук П.Е. Филимонов
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)
канд. техн. наук В.Л. Морус
(ИГТМ НАН Украины)

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ СИТ

Розроблено техніку й технологію зневоднювання мінералів на основі сит динамічно активних стрічкових СДАС. Наведено приклади застосування розроблених техніки і технології.

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF DEHYDRATION OF MINERALS ON BASIS OF SIEVES DYNAMICALLY ACTIVE BAND

A technique and technology of dehydration of minerals on the basis of sieves dynamically active band is developed. The examples of application developed technique and technologies are resulted.

Во всех технологических схемах мокрого обогащения углей применяются операции обезвоживания, целью которых является удаление основной массы воды, содержащейся в перерабатываемых угольных концентратах и породе, а также отделение суспензий, отмывка утяжелителей, обесшламливание конечных и промежуточных продуктов обогащения и т.д. Такие показатели назначения, в сочетании со строго лимитируемыми уровнями содержания влаги в товарных угольных концентратах и в настоящее время чётко наметившимися тенденциями по сокращению и полной ликвидации крайне энергозатратных сушильных переделов, совершенно обоснованно приравнивают эту операцию к числу основных и важнейших технологических процессов современного углеобогащения. Анализ технологических схем действующих предприятий показывает, что обезвоживание всегда выполняется многостадийно и способом, которым оно преимущественно осуществляется на начальных этапах, является грохочение на стационарном или вибрационном оборудовании. Поэтому, всегда являясь крайне важными, задачи специфического совершенствования техники и