

УДК 622.281.5-4

**В. И. БОНДАРЕНКО, И. А. КОВАЛЕВСКАЯ, Г. А. СИМАНОВИЧ**, доктора техн. наук (Национальный горный университет)

**В. Г. СНИГУР**, канд. техн. наук (Шахтоуправление «Терновское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

**А. С. ГУСЕВ**, инж. (Шахтоуправление «Першотравенское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

## Конструкции и оптимизация параметров опорных плит крепи горных выработок из спецпрофиля СВП

Приведены конструкции опорных плит постоянного сопротивления боковым и вертикальным нагрузкам и расчет их параметров, повышающих несущую способность рамных крепей горных выработок, работающих в условиях высоких боковых нагрузок. Наиболее дешевый и доступный исходный материал для изготовления опорных плит – отходы от раскроя балок из спецпрофиля СВП при нарезке элементов рамной крепи или извлекаемая из погашаемых выработок и не подлежащая восстановлению крепь.

**Ключевые слова:** выработка, крепь, опорная плита, расчет, изготовление, отходы спецпрофиля СВП.

**Контактная информация:** v\_domna@yahoo.com

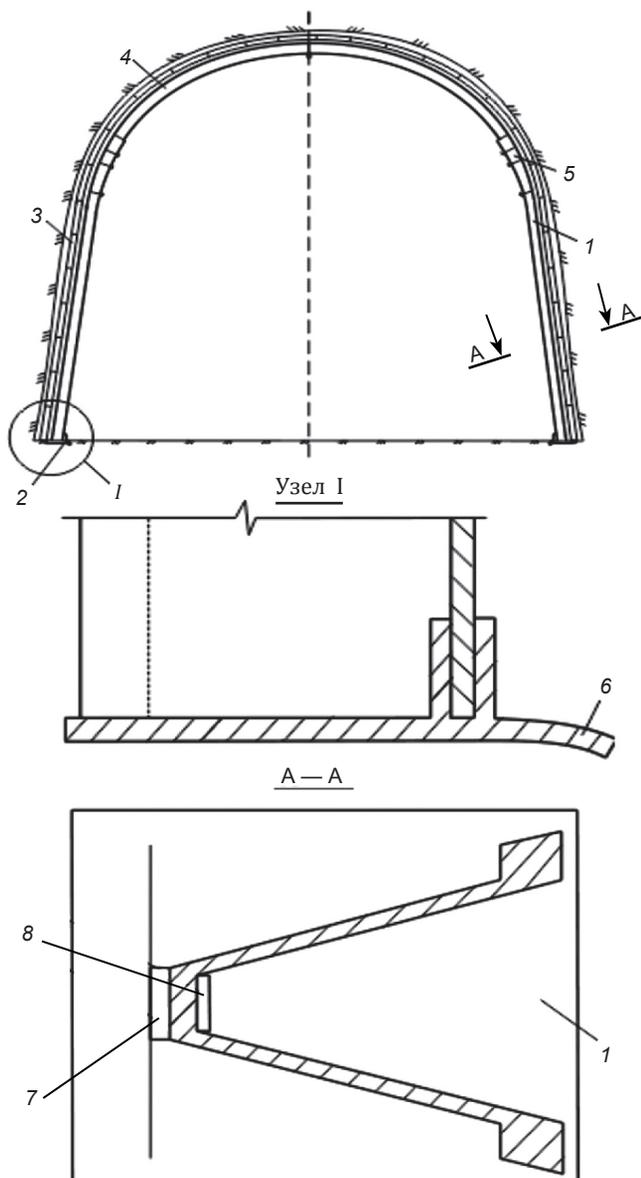
При сооружении горных выработок в сложных горно-геологических условиях для предотвращения вдавливания стоек незамкнутой рамной крепи (например, КШПУ, КМП-А3 и др.) в слабые породы подошвы с расчетным сопротивлением которых на одноосное сжатие менее 15 МПа нормативными документами предусматривается установка стоек на опорные плиты с площадью в разы большей (определяется расчетом) площади поперечного сечения спецпрофиля СВП. Из всех технических решений в целях необходимого многократного повышения площади опоры стоек рамы из СВП, по мнению авторов, наиболее приемлемо применение съемных опорных плит, что позволяет повторно их использовать, облегчает монтажно-демонтажные работы при ремонте и погашении выработок, пакетировании, доставке, погрузочно-разгрузочных работах. Рассмотрим некоторые конструкции съемных опорных плит с дополнительной функцией сопротивления боковым нагрузкам, а также рассчитаем их рациональные параметры на основе геомеханического взаимодействия с рамной крепью и породным массивом.

*Опорная плита ОП-1 со стопорной стенкой.* Для исключения вдавливания и повышения горизонтальной связи стойки рамы с породами почвы горных выработок в крепи предусмотрена стопорная опорная плита (рис. 1), которая состоит из упора 8, ограничителя 7 и стопорной стенки 6, выполненной в виде сегмента дуги.

Рамную крепь устанавливают следующим образом. На подошве выработки укладывают опорные плиты 1, повернутые стопорной стенкой 6 вниз и к центру выработки. На плитах устанавливают стойки 2 крепи, закрепляя верхняя 4 узлом податливости 5. Положение стойки на опорной плите фиксируют упор 8 и ограничитель 7. Затем по контуру крепи укладывают затяжки 3 и забучивают закрепное пространство. При погашении выработки крепь с опорными плитами извлекают для повторного использования.

Стойки 2 вместе с опорными плитами 1 под воздействием смещающихся внутрь выработки боковых пород нагружаются, сопротивляясь смещениям посредством стопорных стенок, внедренных в породы подошвы и, когда боковая нагрузка превышает сопротивление породной призмы сколу, призма разрушается с одновременной боковой податливостью стойки и снижением действующей на нее боковой нагрузки. Реакция стойки рамы с опорной плитой ограничивает интенсивность смещения боковых пород в выработку, предотвращая их расслоение. В такой последовательности происходит противодействие рамы боковым нагрузкам до полного затухания смещений боковых пород. При этом устойчивость крепи и выработки повышается.

Для предотвращения деформирования стойки опорная плита должна иметь определенную реакцию сопротивления  $Q_c$  горизонтальному



**Рис. 1.** Шатровая крепь и опорные плиты ОП-1 со стопорными стенками. 1 – стойка крепи; 2 – опорные плиты; 3 – затяжки; 4 – верхняк; 5 – узел податливости; 6 – стопорная стенка; 7 – ограничитель; 8 – упор.

перемещению. Из условия равновесия стойки под воздействием внешних нагрузок и учета обводненности пород получена формула для

расчета необходимой реакции сопротивления опорной плиты:

$$Q_c = q_6 h_1 L / 2 - Q [(h_1 - h)^2 / (\alpha h_1)], \quad (1)$$

где  $q_6$  – боковая нагрузка;  
 $h_1$  – высота замка рамы от подошвы выработки;  
 $L$  – расстояние между рамами вдоль оси выработки;  
 $Q$  – несущая способность рамной крепи;  
 $h$  – высота прямолинейной части стойки;  
 $\alpha$  – центральный угол изгиба стопорной стенки радиусом  $r$ ;  
 $l$  – ширина рамы (расстояние между опорами стоек крепи в поперечном сечении выработки).

По формуле (1) рассчитано сопротивление горизонтальному перемещению  $Q_c$ . Из результатов, приведенных в таблице, следует, что требуемая реакция сопротивления опорной плиты горизонтальному перемещению изменяется в пределах 20–30 кН. По значению требуемой горизонтальной реакции сопротивления опорной плиты определены рациональные параметры стопорного элемента.

Схема для расчета горизонтальной реакции сопротивления опорной плиты приведена на рис. 2. Максимальное сопротивление горизонтальному перемещению стопорного элемента  $Q_c$  определяется сколом породной призмы  $BDE$  и изгибом стопорного элемента.

Выражение для расчета максимального сопротивления породной призмы сколу имеет вид

$$P = r (1 - \cos \alpha) \sigma_{сж}, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус закругления стопорного элемента.

Максимальное сопротивление стопорного элемента по фактору его изгиба определяется из уравнения его равновесия согласно расчетной схеме (см. рис. 1):

$$\delta_c^2 \sigma_t / 4 = r (1 - \cos \alpha) (P - N), \quad (3)$$

где  $\delta_c$  – толщина стопорного элемента;  
 $\sigma_t$  – предел текучести материала стопорного элемента;  
 $N$  – нормальное усилие на торец стопорного элемента.

Показатели	Значения показателей к выбору параметров опорной плиты														
Площадь поперечного сечения выработки, м <sup>2</sup>	9,6			11,4			13,9			15,6			18,6		
Тип спецпрофиля СВП	19	22	27	19	22	27	22	27	27	33	27	33	27	33	33
Требуемое горизонтальное сопротивление опорной плиты, кН	29,0	27,6	25,5	26,3	24,1	20,8	31,4	28,8	27,2	23,5	30,6	27,4			

Учитывая, что при внедрении стопорного элемента в породу на его торце развиваются напряжения, разрушающие породу, полагаем

$$N = \sigma_{сж} \delta. \quad (4)$$

Тогда из выражений (2)–(4) получаем уравнение равновесия стопорного элемента

$$\delta^2 \sigma_T / 4 = \sigma_{сж} r (1 - \cos \alpha) [r (1 - \cos \alpha) - \delta], \quad (5)$$

которое обуславливает равнопрочность системы стопорный элемент–порода по факторам скола породной призмы и изгибу стопорного элемента.

Из уравнения (5) получено выражение для расчета центрального угла  $\alpha$  стопорного элемента

$$\alpha = \arccos [1 - (\delta/2r) (1 + \sqrt{\sigma_T/\sigma_{сж}})]. \quad (6)$$

При выполнении расчетов необходимо учесть факторы, снижающие предел прочности породы на сжатие, что достигается введением вместо  $\sigma_{сж}$  расчетного сопротивления породы сжатию  $R_{сж}$ :

$$R_{сж} = K K_1 \sigma_{сж}, \quad (7)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность массива пород поверхностями без сцепления или с малой связностью;

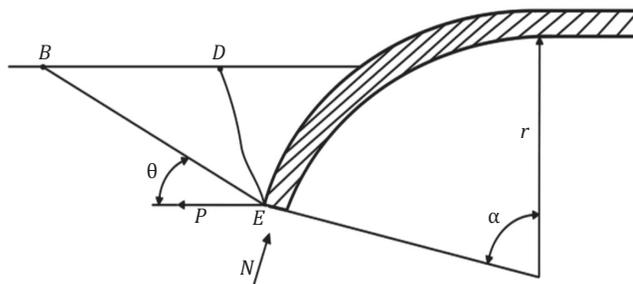
$K_1$  – коэффициент, учитывающий разупрочнение обводненных пород.

Поскольку для аргиллитов и алевролитов Западного Донбасса  $K = 0,6$ ;  $K_1 = 0,5 + 0,6$ , преобразуем формулу (6) к виду

$$\alpha = \arccos [1 - (\delta/2r) (1 + \sqrt{3\sigma_T/\sigma_{сж}})]. \quad (8)$$

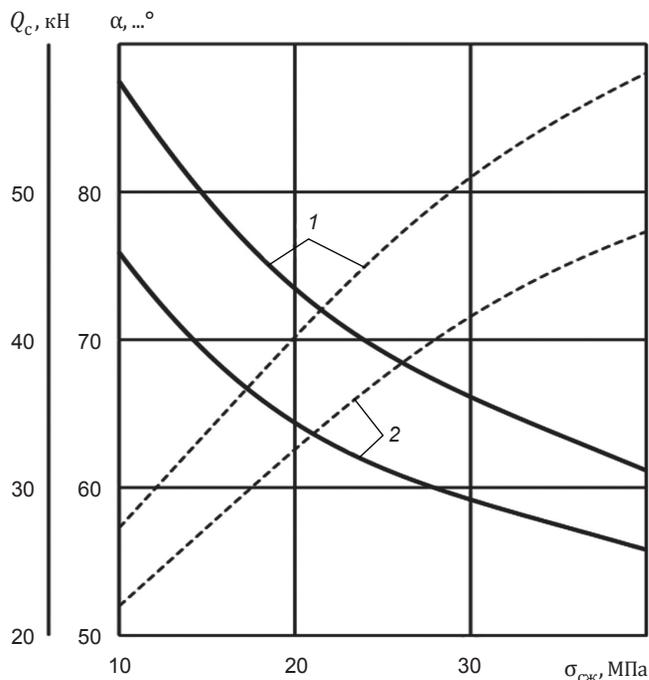
По формуле (8) построены графики зависимости центрального угла  $\alpha$  от параметров  $\sigma_{сж}$  и  $\delta$  (рис. 3), из которых видно, что рациональное значение  $\alpha$  для пород (например, Западного Донбасса) изменяется в основном в пределах 60–75°. При этом сопротивление  $Q_c$  опорной плиты горизонтальному перемещению только при минимальной прочности пород ( $\sigma_{сж} = 10$  МПа) находится в пределах 20–30 кН (см. таблицу). При увеличении прочности породы горизонтальное сопротивление опорной плиты увеличивается, достигая 50–55 кН.

*Опорная плита ОП-2.* Для относительно широкого круга горно-геологических условий со-

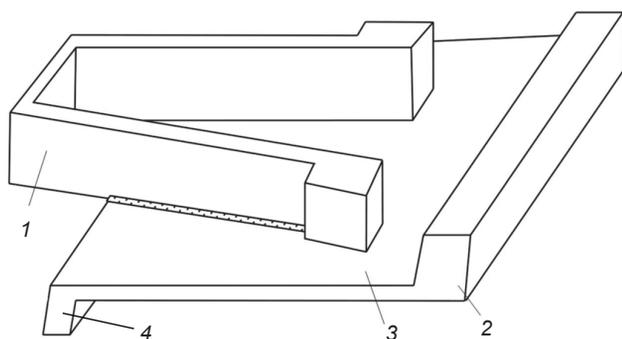


**Рис. 2.** Схема для расчета рациональных параметров стопорного элемента опорной плиты ОП-1:  $\theta$  – угол наклона стопорного элемента к горизонтальной оси.

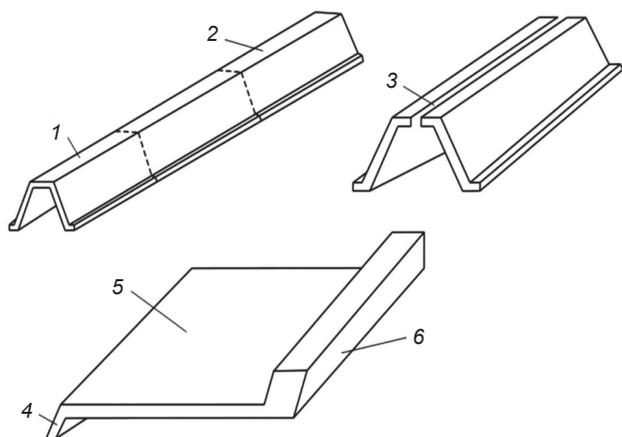
оружения и эксплуатации выработок с затухающим характером пучения пород подошвы и боковыми нагрузками на крепь разработана из отходов спецпрофиля конструкция опорной плиты с регулируемым сопротивлением рамы боковым нагрузкам при неограниченно-податливом режиме взаимодействия опорной плиты с породами подошвы. Конструктивно такой режим взаимодействия системы порода подошвы–опорная плита–стойка рамы достигается следующим: опорная плита снабжена стопором, геометрические параметры которого оптими-



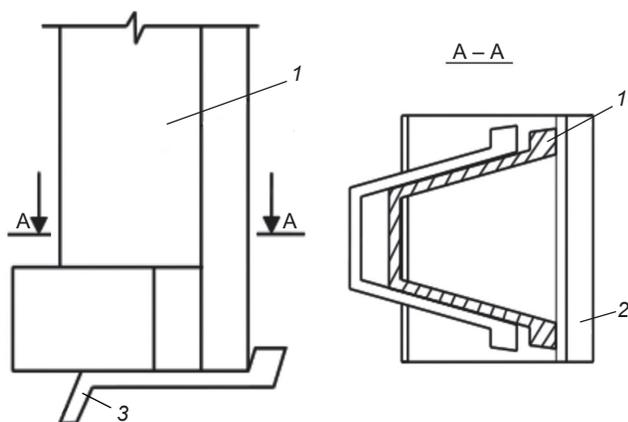
**Рис. 3.** Зависимость центрального угла  $\alpha$  и сопротивления стопорного элемента ОП-1 горизонтальному перемещению от предела прочности породы на сжатие  $\sigma_{сж}$  при: 1 –  $\delta = 10$  мм; 2 –  $\delta = 8$  мм.



**Рис. 4.** Стопорная опорная плита ОП-2: 1 – упор; 2 – ограничитель; 3 – основание плиты; 4 – стопор.



**Рис. 5.** Составляющие элементы стопорной опорной плиты ОП-2 из отхода спецпрофиля СВП: 1 – остаток отхода спецпрофиля; 2 – заготовки; 3 – плита, разделенная на две части; 4 – стопор; 5 – основание опорной плиты; 6 – ограничитель.



**Рис. 6.** Элементы стойки рамы на опорной плите ОП-2: 1 – стойка; 2 – ограничитель; 3 – стопор.

зированы уравнением, полученным из решения задачи о равнопрочности элементов рамы,

$$b = 2H[q_0 h_1 L / 2 - Q(h_1 - h)^2 / (2lh_1)] / (\delta^2 \sigma_r / 2 + a^2 \sigma_{срк} / 3), \quad (9)$$

где  $b$  – длина стопора опорной плиты;

$H$  и  $a$  – высота и толщина стопора.

Численный анализ формулы (9) позволил рекомендовать выбор рациональных длин стопорной опорной плиты в зависимости от типа спецпрофиля СВП для сложных горно-геологических условий (например, Западного Донбасса).

Тип спецпрофиля СВП	19,22	27	33
Длина стопорной опорной плиты, см	35	30	25

Сторпорная опорная плита (рис. 4) состоит из упора и основания плиты с ограничителем и стопором. Для снижения затрат на производство опорных плит разработана технология (рис. 5), предусматривающая использование отходов раскроя спецпрофиля СВП при изготовлении элементов рамы шахтной крепи. Отходы спецпрофиля мерной длины с остатком, образующиеся при изготовлении шахтной крепи из спецпрофиля СВП, нарезают на заготовки, равные длине основания плиты, а затем по продольной оси симметрии (по днищу) заготовки разрезают на две половины и из каждой получают два основания плиты с готовыми ограничителями, функции которых выполняют фланцы спецпрофиля, и стопорами, образованными из разрезанного пополам днища заготовки (см. рис. 5). Образовавшийся остаток отхода спецпрофиля нарезают на участки длиной, равной высоте упора (см. рис. 4), и приваривают на основание плиты со стороны ограничителя таким образом, что между ограничителем и фланцами упора остался зазор, обеспечивающий размещение между ними фланцев стойки рамы.

При монтаже рамы (рис. 6) в забое горной выработки ее стойки устанавливают на предварительно уложенные на подошве выработки опорные плиты, которые ориентируют так, чтобы ограничитель примыкал к породной стенке выработки, а стопор располагался по направлению к центру выработки. Далее рамы собирают по обычной технологии.

Опорную плиту ОП-3 применяют при расчетном сопротивлении пород почвы на одноосное сжатие менее 15 МПа и преобладающей высо-

кой вертикальной нагрузке на рамную крепь (рис. 7).

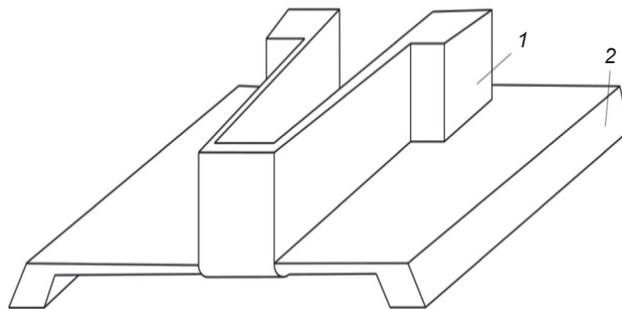
Способ изготовления опорных плит ОП-3 следующий. Отходы спецпрофиля, образующиеся при изготовлении шахтной крепи, разрезают на заготовки длиной, равной суммарной высоте упора и необходимой длине развертки основания плиты. После этого заготовку посредством надрезов (рис. 8), выполняемых на том же оборудовании, на котором раскраивают балки спецпрофиля, разделяют на два участка, равных соответственно проектной высоте упора и длине развертки основания плиты и соединенных между собой частью спецпрофиля, поскольку надрезы осуществляют только во фланцах и в боковых стенках спецпрофиля. Затем участок заготовки, соответствующий длине основания плиты, распрямляют под прессом в основание плиты, содержащее ребра жесткости, образованные основанием и фланцами спецпрофиля. После этого основание плиты загибают под прессом в штампе на 90° относительно второго участка заготовки в сторону опорной части спецпрофиля. При этом ребра жесткости располагаются на наружной стороне основания плиты, что обеспечивает надежную фиксацию плиты на подошве выработки.

Во время монтажа рамы в забое стойки устанавливают на предварительно уложенные на подошве выработки опорные плиты и собирают раму по обычной технологии.

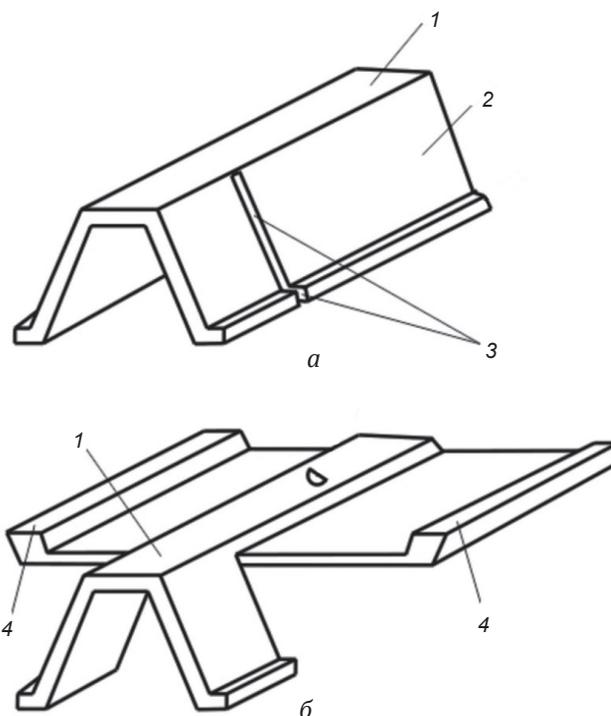
**Выводы.** Опорная плита ОП-1 достаточно эффективно сопротивляется боковым нагрузкам, предотвращая деформирование стойки рамы внутрь выработки и обеспечивая ее устойчивость, а с помощью расчетных выражений можно оптимизировать параметры, что снижает металлоемкость крепи.

Получена расчетная формула и даны рекомендации по выбору рациональной длины основания опорной плиты ОП-2 со стопором, применение которой позволит ограничить смещение стоек рамной крепи внутрь выработки и тем самым повысить ее устойчивость.

С помощью предлагаемого способа изготовления опорной плиты ОП-3 есть возможность использовать отходы спецпрофиля, получаемые при изготовлении шахтной крепи или бывшей в употреблении, которые подлежали отправке



**Рис. 7.** Опорная плита ОП-3: 1 – упор; 2 – основание опорной плиты.



**Рис. 8.** Стадии изготовления опорной плиты ОП-3: а – плита на стадии надреза; б – готовая плита: 1 – спецпрофиль; 2 – основание опорной плиты; 3 – надрезы; 4 – фланцы.

на металлолом; экономить стальную полосу, используемую для изготовления опорных плит; повысить за счет ребер жесткости несущую способность опорных плит; улучшить их взаимодействие с породами подошвы выработки; повысить устойчивость крепи.