УДК 622.284

Ю.Н.ОГОРОДНИКОВ, В.И.ОЧКУРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕКРЫТИЯ КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЙ ВЫРАБОТОК В МАССИВЕ ЖЕЛЕЗНО-СЛЮДКОВО-МАРТИТОВЫХ РУД ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Дана оценка применяемых на Яковлевском руднике конструкций крепи с плоским перекрытием. Определены профили и типоразмеры элементов, рациональная область эксплуатации крепи сопряжений выработок. Обоснована целесообразность применения крепи с арочным перекрытием, обладающей большей несущей способностью и эксплуатационной надежностью.

The estimation used on Iakovlevskom mine designs support with flat overlapping is given. Structures and standard sizes elements, rational area of operation support interfaces of employments are determined. The expediency application support with the arch overlapping, possessing greater bearing ability and operational reliability is proved.

Применяемая на Яковлевском руднике крепь сопряжений выработок состоит из плоского перекрытия в виде балок, свободно лежащих на верхняках камерных рам или на двух-трех подхватных балках, опирающихся на камерные рамы. Верхняк камерной рамы жестко соединен со стойками. На балки перекрытия для предотвращения просыпания руды укладывается ограждение из просечного стального листа или решетчатой затяжки.

Прочность и устойчивость элементов крепи оценивалась расчетом по допускаемым напряжениям согласно СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. В качестве критерия оценки выбора рациональных профилей элементов крепи принят процент запаса их несущей способности по прочности и устойчивости. При разнице критериев до 5 % они считались равноценными. Предпочтительно сочетание профилей элементов крепи при разнице критериев до 10 %. Например, коэффициент запаса несущей способности подхватной балки не должен превышать более чем на 10 % коэффициент запаса балки перекрытия. В свою очередь, коэффициент запаса несущей способности камерной рамы может превышать коэффициент запаса несущей способности подхватной балки до 10 % и, соответственно, до 20 % балки перекрытия.

В железно-слюдково-мартитовой руде наиболее распространена крепь сопряжений выработок с плоским перекрытием из балок пролетом 4,5 м. Прогнозируемая вертикальная равномерно распределенная нагрузка составляет 35 кН/м^2. Балка перекрытия, являясь самостоятельным несущим элементом, определяет, работоспособность крепи сопряжения выработок. В табл.1 приведен перечень возможных типоразмеров двутавра (I) и коробки из двутавров (II) для балок перекрытия [ГОСТ 260020-83. Двутавр нормальный (Б)].

Запас несущей способности крепи с плоским перекрытием из балок 20Б1, 16Б1, 16Б2 по камерным рамам не превышает 17,6 %. Наиболее вероятные места появления остаточных деформаций, потери прочности или устойчивости элементов камерной рамы – узел соединения стойки с верхняком и сечение в середине пролета верхняка.

Таблица 1

Профили и типоразмеры балок перекрытия при расчетной нагрузке 35 кН/м^2

Профиль	Запас несущей способности, %		Масса, кг	
	По прочности	По устойчивости	Балки перекрытия	Перекрытия
Шаг раскладки балок перекрытия 1 м				
II 30Б1	58,1	58,1	297	1485
I 35Б2	45,9	18,9	175,5	877,5
II 23Б1	31,3	31,3	234	1170
II 20Б1	7,8	7,8	198	990
Шаг раскладки балок перекрытия 0,5 м				
I 30Б1	58,1	28,8	148,5	1485
II 20Б1	53,9	53,9	198	1980
I 26Б2	49,8	15,6	139,5	1390
II 18Б2	38,8	38,8	171	1710
II 18Б1	25,5	25,5	135	1350
II 16Б2	17,6	17,6	144	1440
II 16Б1	0,0	0,0	117	1170

Практически условиям прочности и устойчивости удовлетворяют при шаге раскладки 1 м – коробка из двутавра 20Б1, при шаге раскладки 0,5 м – коробка из двутавра 16Б1 или 16Б2.

Остальные профили характеризуются повышенным запасом несущей способности, значительной массой (990-1440 кг). Целесообразность их применения обуславливается повышенной надежностью крепи, что неизменно сопровождается увеличением ее массы, стоимости и трудоемкости возведения.

В конструкции перекрытия с подхватными балками сложно однозначно оценить деформированное состояние балок перекрытия и двух подхватных балок при их взаимодействии. Критерии использования несущей способности недостаточны для прогноза очередности потери несущей способности по прочности или устойчивости того или иного элемента. Первоочередное исчерпание несущей способности подхватных балок создает наиболее неблагоприятную ситуацию для крепи сопряжений выработок. Принятое условие совместимости (балки перекрытия, подхватные балки, стойки и верхняк камерной рамы) обеспечивается при запасе несущей способности крепи с плоским перекрытием по двум подхватным балкам не более 10 % для типоразмеров балок перекрытия и подхватных балок, приведенных в табл.1, 2. Возможные десять сочетаний типоразмеров профилей характеризуются запасом несущей способности крепи по прочности 31-58 %, по устойчивости 16-31 %. Расчет показывает, что крепь с плоским перекрытием по камерным рамам или по двум подхватным балкам эффективна при вертикальной равномерно распределенной нагрузке не более 15 кН/м^2.

Аналогичным проверкам подвергались элементы крепи с плоским перекрытием по трем подхватным балкам. Балка перекрытия рассматривалась как неразрезная двухпролетная балка. При шаге раскладки балок перекрытия 1 м их несущая способность увеличилась в 3,8 раза в сравнении с балками на двух опорах. По сравнению с сечениями над крайними опорами в сечении балки перекрытия над средней опорой внутренние усилия увеличиваются в два раза. Значительно возрастают касательные напряжения. Это обусловило использование для балок перекрытия коробки из двутавра 40Б1 при шаге раскладки балок перекрытия 1 м и, как минимум, из двутавра 30Б2 при шаге раскладки балок 0,5 м.

Таблица 2

Рациональные профили балок перекрытия и подхватных балок при расчетной нагрузке 35 кН/м^2

Профиль балок перекрытия	Подхватные балки			Запас несущей способности крепи, %	
	Профиль	Запас несущей способности подхватной балки по отношению к балке перекрытия, %			
		По прочности	По устойчивости	По прочности	По устойчивости
Шаг раскладки балок перекрытия 1 м					
II 20Б1	II 30Б2	5,2	5,2	7,8	7,8
Шаг раскладки балок перекрытия 0,5 м					
II 16Б1	I 45Б2	37,6	37,6	0,0	0,0
	II 40Б1	49,0	49,0		
	II 35Б1	30,7	30,7		
	II 35Б2	39,1	39,1		

Даже использование столь мощных профилей подхватных балок (крайние балки – двутавр 40Б1, средняя балка – коробка из двутавра 40Б1) не обеспечивает их большую устойчивость в сравнении с балками перекрытия. Расчет показал, что верхняк камерной рамы должен быть выполнен не менее чем из двутавра 45Б2 при стойках из двутавра 45Б2. Поэтому конструкция крепи с плоским перекрытием по трем подхватным балкам не рекомендуется к применению из-за значительной металлоемкости, нерационального использования прочностных характеристик стали, завышенной высоты выработок, неудовлетворительной технологичности возведения и сложности доставки элементов к месту производства работ.

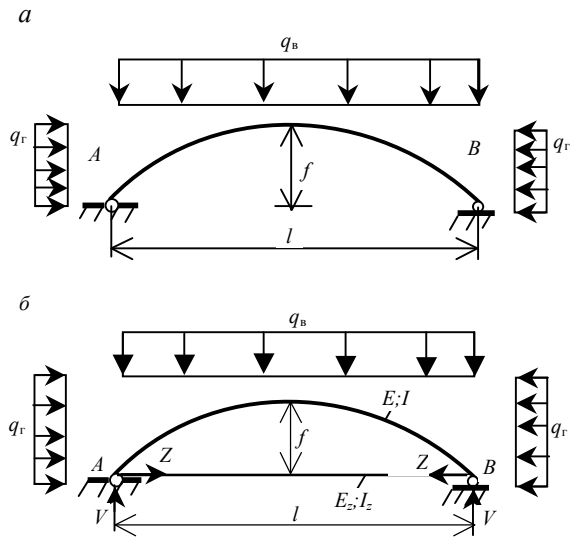


Рис.1. Расчетная схема арки циркульного очертания без (*а*) и со стяжкой (*б*) пролетом *l*, стрелкой подъема свода *f* на шарнирно-неподвижной (*A*) и шарнирно-подвижной (*B*) опорах

E, E_z – модуль упругости материала арки и стяжки; *I*, I_z – момент инерции поперечных сечений арки и стяжки

Значительно надежнее конструкция поддерживающей крепи с арочным перекрытием по камерным рамам. Арочное перекрытие циркульного очертания в наибольшей степени соответствует очертанию рудного обнажения, формирующегося при рассечке сопряжения. Уменьшаются объемы закрепного пространства, забутовочного материала, металлоемкость крепи, трудоемкость работ. Для нейтрализации воздействия бокового распора арки на камерные рамы в конструкцию крепи введен дополнительный элемент – стяжка.

Несущая способность арочного перекрытия по камерным рамам оценивалась для арок циркульного очертания на шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорах без стяжки и со стяжкой (рис.1).

Арка без стяжки является статически определимой конструкцией и характеризуется малой несущей способностью (рис.1, *а*). Так, при отношении горизонтальной нагрузки к вертикальной нагрузке $n = 0{,}2$ арка пролетом $l = 4{,}5$ м и стрелкой подъема $f = 2{,}25$ м воспринимает максимальную вертикальную нагрузку 10 кН/м^2, что только на 25 % превышает несущую способность простой балки. Данная конструкция, естественно, не может рассматриваться как альтернатива балочному перекрытию крепи сопряжений выработок.

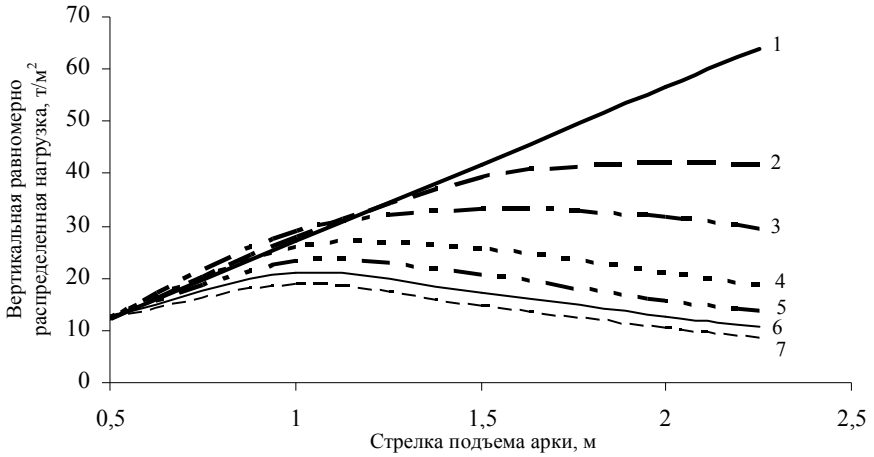


Рис.2. Зависимость допускаемой вертикальной равномерно распределенной нагрузки на арку циркульного очертания из СВП-22 со стяжкой с площадью поперечного сечения 27,9 см^2 на шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорах от величины горизонтальной нагрузки

1 – 0,0; 2 – 0,05; 3 – 0,1; 4 – 0,2; 5 – 0,3; 6 – 0,4; 7 – 0,5 – отношение горизонтальной нагрузки к вертикальной

Арка циркульного очертания со стяжкой на шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорах является статически неопределимой конструкцией. В зависимости от параметра n величина вертикальной нагрузки определяется стрелкой подъема (рис.2). При отсутствии горизонтальной нагрузки имеет место практически линейный рост несущей способности с уменьшением радиуса арки (с увеличением стрелки подъема). Наличие горизонтальной нагрузки выявляет радиусы арки, при которых обеспечивается ее максимальная несущая способность. Оптимальная величина стрелки подъема уменьшается с увеличением горизонтальной нагрузки. Так, независимо от типоразмера специального взаимозаменяемого профиля СВП оптимальные стрелки подъема арки составляют f = 1,4-1,7 м при n = 0,1; f = 1,1-1,3 м при n = 0,2; f = 1,0-1,1 м при n = 0,5. При этом максимальная равномерно распределенная нагрузка для арки со стяжкой из СВП-22, СВП-19, СВП-17 составит соответственно при n = 0,1 – 340; 290; 250 кН/м^2; при n = 0,2 – 280; 230; 200 кН/м^2; при n = 0,5 – 190; 170; 140 кН/м^2. Данные результаты получены при стяжке из того же, что и арка, типоразмера СВП.

Рассмотрим влияние площади поперечного сечения стяжки на несущую способность арочного перекрытия (рис.3). Стяжка, нейтрализуя боковой распор арки, существенно влияет на величины изгибающего момента и нормальной силы в арке. Влияние площади поперечного сечения стяжки возрастает с уменьшением подъема свода и горизонтальной нагрузки. При n = 0 вертикальная нагрузка определяется только площадью сечения стяжки. При n = 0,1 увеличение площади сечения стяжки более 13 см^2 не влияет на несущую способность арки из СВП-22, которая в дальнейшем обуславливается прочностью сечения в вершине свода (рис.3, *а*). При n = 0,2 необходимая площадь сечения стяжки 10 см^2. Для арки со стрелкой подъема 0,5 м при изменении n от 0 до 0,5 имеем практически одинаковую площадь сечения стяжки не более 20 см^2 (рис.3, *в*).

Таким образом, каждому сочетанию значений радиуса арки и отношения горизонтальной нагрузки к вертикальной соответствует величина площади поперечного сечения стяжки, дальнейшее увеличение которой не влияет на несущую способность арочного перекрытия. Для некоторых сочетаний значений стрелки подъема арки и отношения горизонтальной нагрузки к вертикальной существует оптимальная площадь сечения стяжки, обеспечивающая максимальную несущую способность арочного перекрытия. Рациональная площадь поперечного сечения стяжки арки циркульного очертания также определяется конструктивно приемлемыми профилями и типоразмерами элементов камерной рамы.

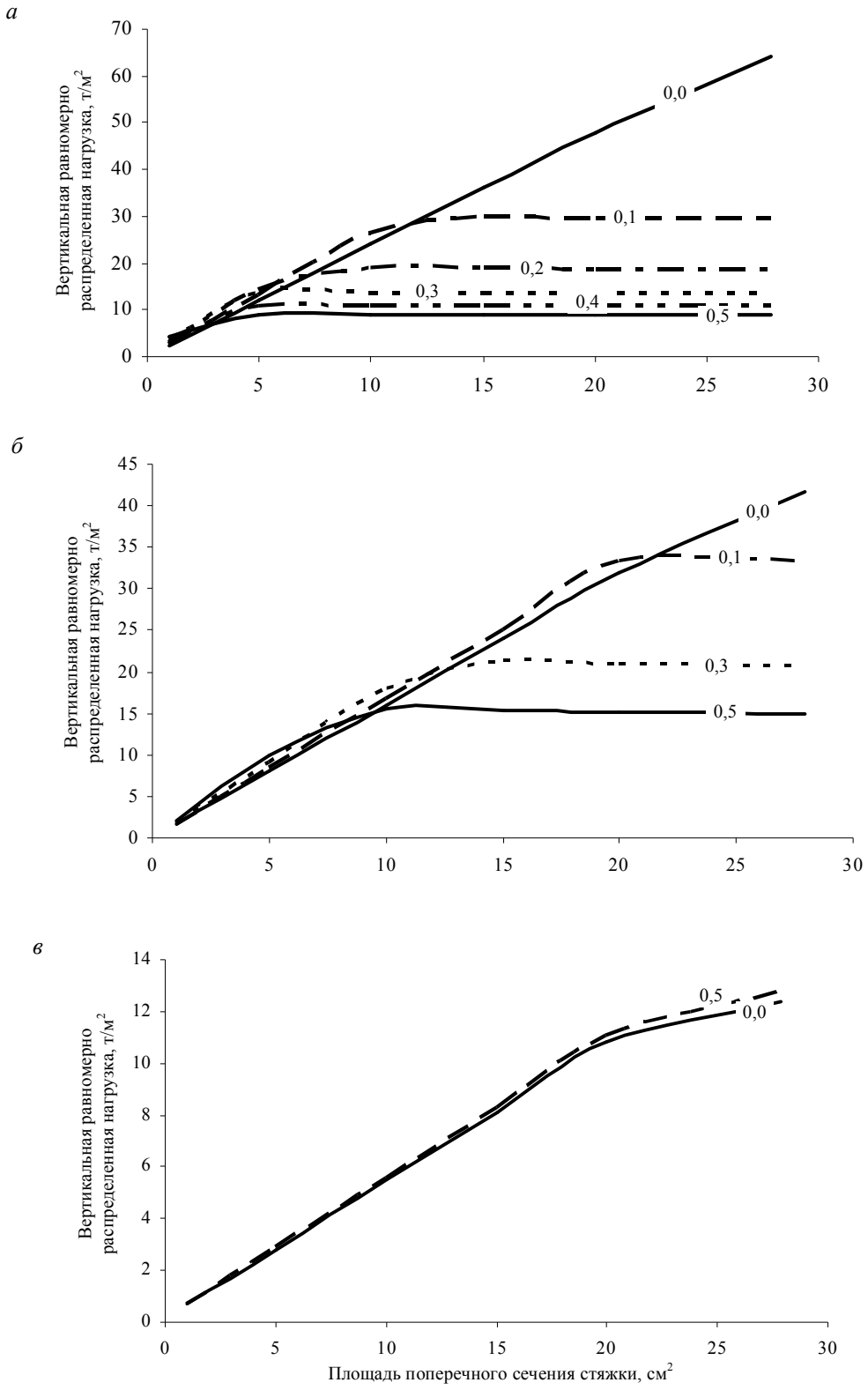


Рис.3. Зависимость допускаемой вертикальной нагрузки на арку циркульного очертания из СВП-22 с затяжкой на шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорах от площади поперечного сечения затяжки при стрелке подъема арки 2,25 м (*а*); 1,0 м (*б*); 0,5 м (*в*); 0,0 – 0,5 – отношение горизонтальной нагрузки к вертикальной

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Перекрытие из балок спецпрофиля СВП имеет несущую способность, не превышающую 13,5 кН/м^2, значительную металлоемкость и стоимость.

2. Крепь с плоским перекрытием площадью не более 16 м^2 и пролетом балок до 4 м по камерным рамам или по двум подхватным балкам рекомендуется для обеспечения устойчивости сопряжений выработок в вмещающем массиве, формирующем на крепь равномерно распределенную вертикальную нагрузку до 15-20 кН/м^2.

3. Крепь с плоским перекрытием по трем подхватным балкам и крепь с арочным перекрытием без стяжки по камерным рамам не может рекомендоваться к применению.

4. Допускаемая вертикальная равномерно распределенная нагрузка на арочное перекрытие со стяжкой при отсутствии горизонтальной нагрузки практически линейно возрастает с увеличением стрелки подъема арки циркульного очертания. Влияние площади поперечного сечения стяжки на несущую способность арки возрастает с уменьшением подъема свода и отношения горизонтальной нагрузки к вертикальной.

5. Независимо от типоразмера СВП арочное перекрытие со стяжкой имеет максимальную несущую способность при отношении горизонтальной нагрузки к вертикальной 0,1; 0,2; 0,5 и соответственно величине стрелки подъема свода 1,4-1,7; 1,1-1,3; 1,0-1,1 м.

6. Выбором рациональных профилей элементов крепи с арочным перекрытием по камерным рамам при соблюдении технологической дисциплины производства работ можно обеспечить эксплуатационное состояние сопряжений выработок в железно-слюдково-мартитовом рудном массиве в диапазоне прогнозируемых нагрузок на крепь.