

А.Ю. Ермаков, П.В. Васильев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

Рассмотрена методика расчета параметров крепления горных выработок большого сечения, приведены расчетные схемы различного вида сопряжений выработок наиболее трудных для обоснования параметров крепления, а так же даны основные формулы методики и перечень рассчитываемых параметров. Методика прошла апробацию на шахтах Кузбасса.

Ключевые слова: методика, расчет, параметры, крепление, выработка, большое сечение.

Методика прогнозирования параметров равнопрочной сложной системы «Технология → крепь → геомассив» в зонах повышенного горного давления включает следующие этапы расчета параметров крепи горных выработок большого сечения: подготовка и ввод в базу данных исходной информации, включающей горно-геологические условия; расчет параметров крепи для типовой выработки шириной 5 м в соответствии с рекомендациями ВНИМИ; выбор предельных деформаций на границе свода естественного равновесия типовой выработки или выработки-аналога для настройки реальной модели: расчет напряжений, деформаций и смещений пород в окрестности реальной проектируемой выработки; определение параметров свода естественного равновесия по предельным деформациям; расчет сопротивления анкерной и стоечной крепи, выбор типа и конструкции анкерной и стоечной крепи, в том числе пилотных секций механизированной крепи, разработка паспорта крепления выработки.

Настройка математической модели и корректировке параметров крепи производится с учетом результатов мониторинга смещений контурных и глубинных реперов, установленных в окрестности выработок, повышенного горного давления и геологических разрывных нарушений, свода естественного равновесия пород кровли, коэффициентов концентрации напряжений, ширины зоны отжима угля и пород, глубины зоны пучения пород в почве, остаточной прочности угля и пород.

Для расчета параметров крепей камер и сопряжений выработок используются результаты горно-геологического прогноза, разрабатываемого в соответствии с требованиями п. 7.1 «Инструкции по составлению паспортов выемочного участка, проведения и крепления подземных выработок» [1].

При проведении монтажной камеры выделяют два периода: проведение пионерной выработки узкого сечения и расширение выработки.

Для формирования демонтажной камеры необходимо знать характеристики механизированного комплекса и демонтажного оборудования, форму и размеры обнажаемой при демонтаже кровли, организации работ при использовании пилотных секций и другие специфические для каждой технологической схемы демонтажа особенности.

Исходные данные заносятся в таблицы, представляются в виде планов и графиков в составе паспорта проведения, крепления и технологических схем монтажа и демонтажа механизированного комплекса.

СХЕМА 1

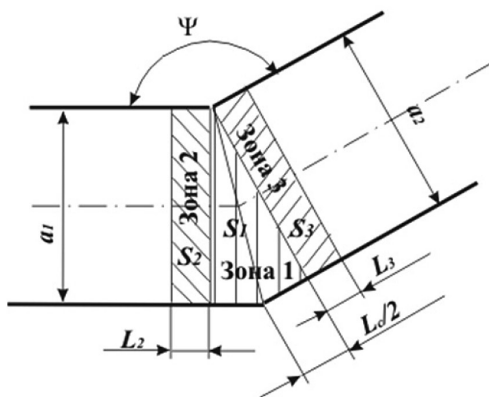


СХЕМА 2

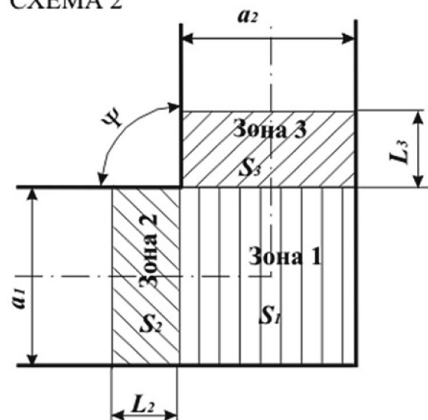


Рис. 1. Расчетные схемы к определению площади обнажения кровли в различных зонах сопряжения выработок примыкающих друг к другу под тупым и прямыми углами

Расчеты проводятся для наиболее сложных горно-геологических и горно-технических условий на участке эксплуатации выработки.

Методика расчета геометрических параметров сопряжений подготовительных выработок учитывает многообразие вариантов сопряжений в виде примыкания, ответвления, пересечения, разветвления и может быть использована для восьми схем, представленных на рис. 1–4.

Эквивалентный пролет сопряжений (L_3) вычисляется по формулам:

а) для схем 1, 2, 3 и 5

$$L_3 = \sqrt{a_2^2 + \left(\frac{a_1 + a_2 \cdot \cos \psi}{\sin \psi} \right)^2}, \quad (1)$$

СХЕМА 3

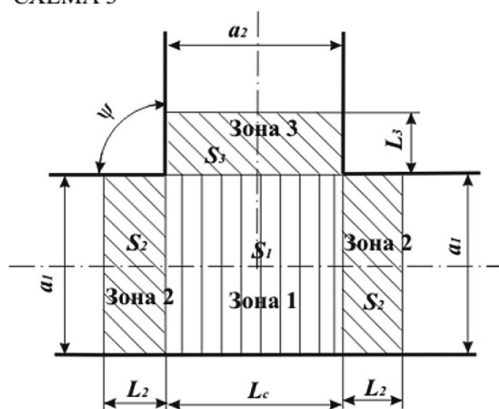


СХЕМА 4

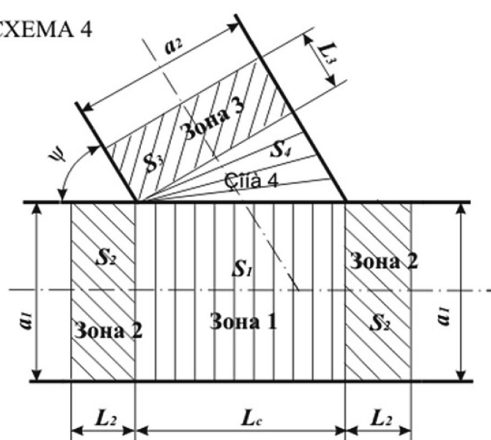


Рис. 2. Расчетные схемы к определению площади обнажения кровли в различных зонах сопряжения выработок с односторонним ответвлением под прямым и острым углами

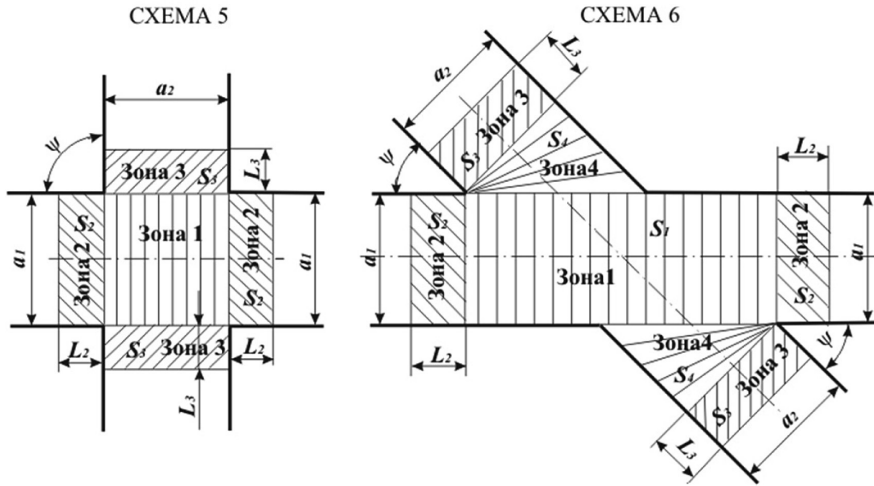


Рис. 3. Расчетные схемы к определению площади обнажения кровли в различных зонах сопряжения выработок, пересекающихся под прямым и острым углами

б) для схем 4, 6, 7 и 8

$$L_3 = \sqrt{(a_1^*)^2 + (a_2^*)^2 + 2a_1^* \cdot a_2^* \cdot \cos \psi}, \quad (2)$$

где a_1, a_2 – ширина сопрягающихся выработок, м; a_1^*, a_2^* – ширина сопрягающихся выработок с учетом величины уменьшения длины углового целика (t) при $\psi \leq 40^\circ$; ψ – угол примыкания, разветвления, пересечения или ответвления выработок, градус.

$$a_1^* = a_1 + t \cdot \sin \frac{\psi}{2}; \quad (3)$$

$$a_2^* = a_2 + t \cdot \sin \frac{\psi}{2}, \quad (4)$$

где t – величина уменьшения длины углового целика при $\psi \leq 40^\circ$, $t = 0,5$ м.

Длина сопряжений (L_c) вычисляется по следующим формулам:

а) выработок, примыкающих друг к другу под тупым углом (схема 1)

$$L_c = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot \sin(\psi / 2); \quad (5)$$

б) выработок с примыканием и пересечением под углом 90° (схемы 2 и 5) и с ответвлением под углом $30-90^\circ$ (схемы 3 и 4)

$$L_c = \frac{a_2}{\sin \psi}; \quad (6)$$

в) выработок, пересекающихся под углом $30-90^\circ$ (схема 6)

$$L_c = \frac{a_1}{\operatorname{tg} \psi} + \frac{a_2}{\sin \psi}; \quad (7)$$

г) откаточных выработок с разветвлением под углом 30° (схема 7)

$$L_c = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{\sin(\psi - \beta)}; \quad (8)$$

д) откаточных выработок с ответвлением под углом 30° (схема 8)

$$L_c = \frac{0,9 \cdot a_2}{\sin(\psi - \beta)}, \quad (9)$$

где β – угол стрелочного перевода, равный $11^\circ 25'$ при радиусе закругления рельсов 20 м.

Длина участка выработки в месте установки опорных рам или подвесных верхняков крепи для видов сопряжений (L_ψ) вычисляется по формулам:

а) примыкание, ответвление и пересечение выработок под углом $40 \dots 90^\circ$ (схемы 2–6)

$$L_\psi = \frac{a_2}{\sin \psi}; \quad (10)$$

б) ответвление и пересечение выработок под углом до 40° (схемы 4, 6–8)

$$L_\psi = 1,5 \cdot a_2. \quad (11)$$

Расчет длины (L_2, L_3, L_5) прилегающих к горным выработкам большого сечения и их сопряжениям участков, испытывающих повышенное горное давление, осуществляется по следующему алгоритму

а) схемы 1–6 и 8 (зона 2)

$$L_2 = \frac{(c + a_1) \cdot L_3}{1,7 \cdot (a_1 + a_2)} \cdot \cos\left(\frac{\psi}{2}\right); \quad (12)$$

б) схемы 1–8 (зона 3)

$$L_3 = \frac{(c + a_2) \cdot L_3}{1,7 \cdot (a_1 + a_2)} \cdot \cos\left(\frac{\psi}{2}\right); \quad (13)$$

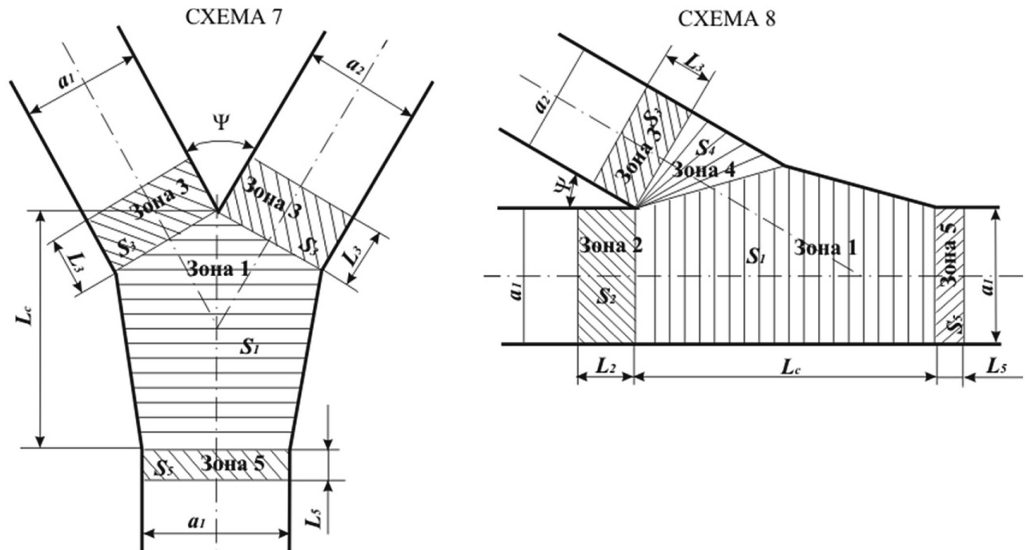


Рис. 4. Расчетная схема к определению площади обнажения кровли в различных зонах сопряжения выработок с разветвление и односторонним ответвлением под острым углом

в) схемы 7,8 (зона 5)

$$L_5 = \frac{(c + a_2) \cdot L_3}{1,7 \cdot (a_1 + a_2)} \cdot \cos\left(\frac{90^\circ - \psi}{2}\right), \quad (14)$$

где L_3 – эквивалентный пролет того или иного вида сопряжения; c – величина неустойчивой краевой части пласта или массива пород в зонах бокового отжима на сопряжении выработок, при $c < 0$ принимать $c = 0$ м,

$$c = \left(\sqrt{\frac{K_{сж} \cdot \gamma H B}{10^3 \cdot \sigma_6}} - 1 \right) \cdot h \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right), \quad (15)$$

где $K_{сж}$ – коэффициент концентрации сжимающих напряжений в боках выработок; γ – объемный вес горных пород, залегающих над выработками до поверхности, кН/м^3 , принимается $\gamma = 23 \text{ кН/м}^3$; H – глубина залегания сопряжения выработок до поверхности, м; B – коэффициент влияния очистных работ; σ_6 – предел прочности при сжатии угля или слабого слоя пород в боках сопряжения выработок, МПа; h – высота сопряжения выработок в проходке, м. Если сопрягающиеся выработки проводятся по пласту угля, мощность которого меньше высоты сопряжения, то в формулу (15) вместо h подставляется значение мощности пласта m ; φ – угол внутреннего трения угля или слабого слоя пород в боках сопряжения выработок, градус, равный

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\sigma_6}{10}. \quad (16)$$

Коэффициент концентрации сжимающих напряжений

$$K_{сж} = A + \sqrt{\frac{L_3}{h}}, \quad (17)$$

где A – эмпирический коэффициент влияния формы поперечного сечения выработок, равный 0,8; 1,4 и 1,8 соответственно для арочной, сводчатой или прямоугольной форм сопряжения выработок; h – высота сопряжения выработок в проходке, м.

Коэффициент влияния очистных работ

$$B = 1 + \frac{K_a^2 \cdot R}{2R + r}, \quad (18)$$

где K_a – коэффициент обрушаемости пород активной кровли пласта. Числовые значения K_a принимаются 0,7; 0,8 и 0,9 соответственно для легкообрушающихся, среднеобрушающихся и труднообрушающихся пород активной кровли пласта; R – ширина зоны временного опорного давления, м; r – ширина охранного целика или кратчайшее расстояние от сопряжения выработок до границ выработанного пространства, м.

Ширина зоны временного опорного давления

$$R = \sqrt{\frac{K_a \cdot m \cdot \gamma \cdot H \cdot L}{7 \cdot \sigma_m}}, \quad (19)$$

где m – мощность пласта, м; σ_m – предел прочности на сжатие угля пласта, МПа.

В зависимости от проектируемого вида сопряжения, площади обнажения кровли во всех зонах сопряжения выработок определяются по одной из восьми расчетных схем (см. рис. 5.1–5.4).

Расчет площади обнажения пород кровли в зоне 1 (S_1) проводится по следующим формулам:

а) выработок, примыкающих друг к другу под тупым углом (схема 1),

$$S_1 = (a_1 + a_2) \frac{L_c}{4}; \quad (20)$$

б) выработок с примыканием и пересечением под прямым углом (схемы 2 и 5) и с односторонним ответвлением под углом 40–90° (схемы 3 и 4) и выработок, пересекающихся под углом 40–90° (схема 6),

$$S_1 = a_1 \cdot L_c; \quad (21)$$

в) выработок с ответвлением под углом до 40° (схема 4)

$$S_1 = a_1 \cdot L_c + \frac{a_2^2}{8}; \quad (22)$$

г) выработок, пересекающихся под углом до 40° (схема 6),

$$S_1 = a_1 \cdot L_c + \frac{a_2^2}{4}; \quad (23)$$

д) откаточных выработок с разветвлением под углом 60° (схема 7)

$$S_1 = \frac{(a_1 + L_3)(2 \cdot L_3 - a_2)}{4} + \frac{a_2 \cdot L_3}{4}; \quad (24)$$

е) откаточных выработок с ответвлением под углом 60° (схема 8)

$$S_1 = a_1 \cdot L_c + \frac{L_c^2}{16}; \quad (25)$$

Расчет площади обнажения пород кровли в зоне 2 проводится по следующей формуле

$$S_2 = a_1 \cdot L_2. \quad (26)$$

Расчет площади обнажения пород кровли в зоне 3 проводится по следующей формуле

$$S_3 = a_2 \cdot L_3. \quad (27)$$

Расчет площади обнажения пород кровли в зоне 4 (S_4) проводится по следующим формулам:

а) выработок с ответвлением и пересечением под углом 40–90°

$$S_4 = \frac{1}{2} a_2^2 \operatorname{ctg} \psi; \quad (28)$$

б) выработок с ответвлением и пересечением под углом до 40°

$$S_4 = \frac{1}{2} a_2^2 \operatorname{ctg} (\psi + 15^\circ). \quad (29)$$

Расчет площади обнажения пород кровли в зоне 5 сопряжения откаточных выработок с разветвлением под углом 60° и ответвлением (схемы 7–8) осуществляется по формуле

$$S_5 = a_1 \cdot L_5. \quad (30)$$

Давления на крепь сопряжений выработок коэффициенты устойчивости пород кровли на сопряжении выработок определяются из выражения

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{k_1 \cdot (m_1 - h^1) + k_2 \cdot m_2 + \dots + k_n \cdot (a_{cp} - m_1 - m_2 - \dots - m_{n-1} + h^1)}{(m_1 - h^1) + m_2 + \dots + (a_{cp} - m_1 - m_2 - \dots - m_{n-1} + h^1)}, \quad (31)$$

где k_i – коэффициент устойчивости i -го слоя пород кровли на сопряжении выработок; m_i – мощность i -го слоя пород кровли на сопряжении выработок, м,

$$\sum_{i=1}^n m_i = a_{cp} = \frac{1}{2}(a_1 + a_2); \quad (32)$$

где a_{cp} – средняя ширина сопрягающихся выработок, м; h^1 – величина присечки пород кровли пласта, м; m_1, m_2 – мощность первого, второго и последующих слоев пород кровли, м.

Значения коэффициента K устанавливается по мощности одного слоя ($m_1 > a_{cp}$, $K = k_1$) или по суммарной мощности слоев пород, равной средней ширине сопрягающихся выработок. Коэффициент устойчивости каждого слоя горных пород, зависящий от природных и технологических факторов, вычисляется по формуле

$$k_i = \frac{\sigma_i \cdot K_{гр} \cdot K_c}{\sigma_i + 2W_o + 3n}, \quad (33)$$

где σ_i – предел прочности на сжатие i -го слоя пород кровли, МПа; $K_{гр}$ – коэффициент структурного ослабления i -го слоя пород кровли. Для трещиноватых слабоустойчивых пород $K_{гр}$ принимается равным 0,6; для трещиноватых пород средней устойчивости – 0,75 и для слаботрещиноватых устойчивых пород – 0,9; в зонах влияния дизъюнктивных нарушений, ПГД, повышенной трещиноватости коэффициент $K_{гр}$ рекомендуется принимать равным 0,45; K_c – коэффициент влияния способа проведения сопряжения выработок, равный 0,7 при буровзрывном способе и 1,0 при механизированном способе проведения сопряжения выработок; W_o – относительная влажность горных пород, %. На нижних горизонтах шахт W_o составляет преимущественно 1,3–3,5%, (в том числе песчаников 1,3–2,5%, алевролитов 1,5–3% и аргиллитов 1,8–3,5%); n – количество сопрягающихся выработок, при проведении которых происходит двух- или трехкратная разгрузка массива. Для сопряжений с разветвлением, примыканием и ответвлением $n = 2$, а для сопряжений с двухсторонним ответвлением и пересечением выработок $n = 3$.

Дополнительно рассчитываются по империческим формулам следующие параметры:

1. Глубина расслоения пород кровли в зоне 1 после выемки ниш под опорные рамы и в зонах 2, 3 и 5 на прилегающих участках сопряжений выработок.

2. Глубина расслоения пород кровли в зонах 1 и 4 после проведения сопряжения выработок

3. Интенсивность вертикальной нагрузки на анкеры или стойки временной крепи, отнесенной к 1 м длины выработки на участке установки опорных рам, а так же на рамы (арки) постоянной крепи сопряжения в зонах 2, 3 и 5.

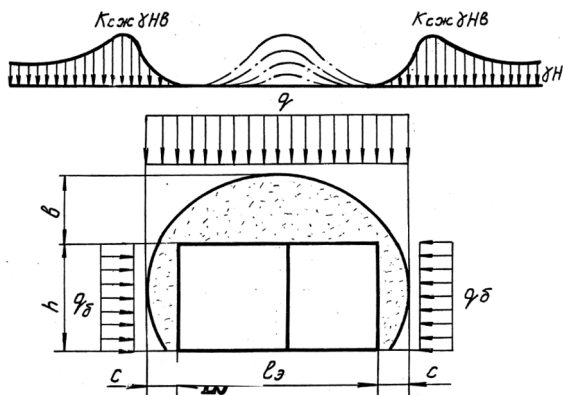


Рис. 5. Расчетная схема к определению нагрузки на крепь сопряжения

4. Максимальная интенсивность вертикальной нагрузки на 1 м^2 поддерживаемой кровли на сопряжении выработок определяется в соответствии с расчетной схемой рис. 5.

5. Интенсивность боковой нагрузки на 1 м длины сопряжения выработок.

6. Допускаемые нагрузки на крепь сопряжений выработок для разных типов анкеров.

7. Предельная допускаемая нагрузка на металлические рамные (арочные) крепи, элементы перекрытий и верхняки опорных рам.

8. Допускаемые нагрузки на осевое сжатие деревянных стоек временной крепи.

9. Длина анкеров временной крепи в зоне 1 и постоянной крепи в зонах 2, 3 и 5.

10. Длина анкеров на сопряжении выработок в зонах 1 и 4.

11. Длина анкеров, используемых для усиления балок опорных рам и установки подвесных верхняков под концы элементов перекрытия или анкерных подхватов на стыке одной выработки с другой.

12. Длина анкеров, устанавливаемых в боках на сопряжении выработок.

13. Требуемое количество анкеров или стоек временной крепи на 1 м длины выработки в пределах установки опорных рам.

14. Шаг установки рядов анкеров или деревянных стоек временной крепи.

15. Шаг установки анкеров в боках на сопряжении выработок.

16. Среднее расстояние между анкерами, устанавливаемыми по квадратной сетке в кровлю на сопряжении выработок в период их проведения.

17. Расчетное количество анкеров, используемых для поддержания кровли в каждой зоне сопряжения выработок.

18. Количество анкеров в ряду, устанавливаемых на сопряжении в момент проведения выработок.

19. Шаг установки анкеров на сопряжении в момент проведения выработок.

20. Шаг установки рамной (арочной) крепи в зонах 3 и 4 сопряжения ответвляющейся выработки в период ее проведения.

21. Требуемое количество анкеров, устанавливаемых между рядами анкерной крепи для соответствующей зоны сопряжения выработок.

22. Расчетный шаг установки рамных (арочных) крепей в зонах 2, 3 и 5 (схемы 1–8) и в зоне 1 (схемы 1 и 7), а также элементов перекрытия опорных рам или подвесных верхняков в зоне 1 (схемы 2–6).

23. Расчетный шаг установки арочных крепей на первой половине зоны 1 и элементов перекрытия опорных рам на второй половине зоны 1 (схема 8).

24. Расчетный шаг установки арочных крепей на второй половине зоны 1 (схема 8).

25. Требуемое количество анкеров, устанавливаемых между элементами перекрытия опорных рам или подвесных верхняков.

26. Требуемое количество анкеров, устанавливаемых между арками в зоне 1.

27. Требуемое количество анкеров, устанавливаемых между арками в зоне 2 и 5 базисной выработки (схемы 2–6).

28. Момент сопротивления балки опорной рамы для разных схем.

29. Момент сопротивления двухпролетной балки, опирающейся концами на стойки (тумбы), а в промежутке – на спаренные анкера.

30. Требуемое количество анкеров для поддержания центральной части двухпролетной балки опорной рамы.

31. Требуемое количество анкеров для подвесного верхняка, на который опираются концы элементов перекрытия.

32. Момент сопротивления подвесного верхняка для выбора профиля проката.

33. Необходимое количество промежуточных анкеров для установки в зоне 3 сопрягающейся выработки.

Результаты расчета использованы при разработке паспорта крепления сопряжения конвейерного штрека 29–19 с конвейерным штреком 39–23 пласта 29а шахты «Есаульская», а последующие шахтные исследования подтвердили, что устойчивость выработок и безопасность для людей и механизмов обеспечивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах. Книга 2. Инструкции. – Самара: Самарский дом печати, 1996. – 352 с. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ермаков Анатолий Юрьевич – кандидат технических наук, исполнительный директор,
Васильев Павел Валентинович – кандидат технических наук,
руководитель экспертной организации,
ООО «Сибниуглеобогашения», г. Прокопьевск.

UDC 622.261(571.17).001

METHOD OF CALCULATION OF PARAMETERS OF FASTENING OF THE MOUNTAIN MAKING OF LARGE SECTION

Ermakov A. Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Executive Director,
Vasil'ev P. V.¹, Candidate of Technical Sciences, Leader of Expert Organization,

¹ LTD «Sibniugleobogasheniya», Prokop'evsk, Russia.

In the article rassmatriyaetsya method of calculation of fastening parameters mountain vyrabo-current of large section, the calculation charts of different type of interfaces are resulted vyrabo-current of the most difficult for a ground parameters of fastening, and the basic formulas of method and list of raschityvaemykh parameters are similarly given. A method passed approba-ciyu on the mines of Kuzbassa.

Key words: method, calculation, parameters, fastening, making, large section.

REFERENCES

1. *Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh*. Kniga 2. Instruktsii (Rules of safety in coal mines. Book 2. Instructions), Samara, Samarskiy dom pechati, 1996, 352 p.