

УДК 622.016.47

Д.В. Зорков., А.А. Ренёв, С.С. Цибаев

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРЕПИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННОЙ ДЕМОНТАЖНОЙ ВЫРАБОТКИ

Перемещение лавного оборудования из одного выемочного столба в другой выемочный столб (перемонтаж очистного оборудования) всегда является операцией, требующей тщательной инженерной проработки и планирования. В качестве альтернативного метода для демонтажа очистного оборудования, отечественные и зарубежные шахты начали использовать предварительно пройден-

ные демонтажные выработки. Основным преимуществом данного метода является то, что крепь в демонтажной выработке устанавливается в обычных горных условиях, под защитой временной крепи. Однако при въезде в демонтажную выработку в некоторых случаях происходили аварии [1, 2].

Анализ отечественных и зарубежных аварий-

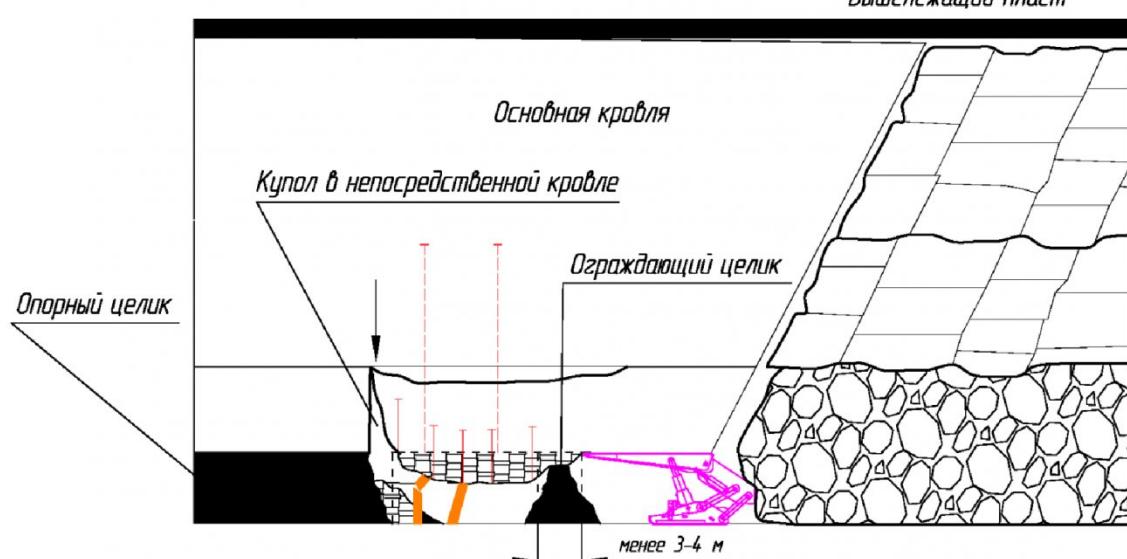


Рис. 1 Обрушение кровли, при въезде очистного комплекса в демонтажную выработку, по первому типу

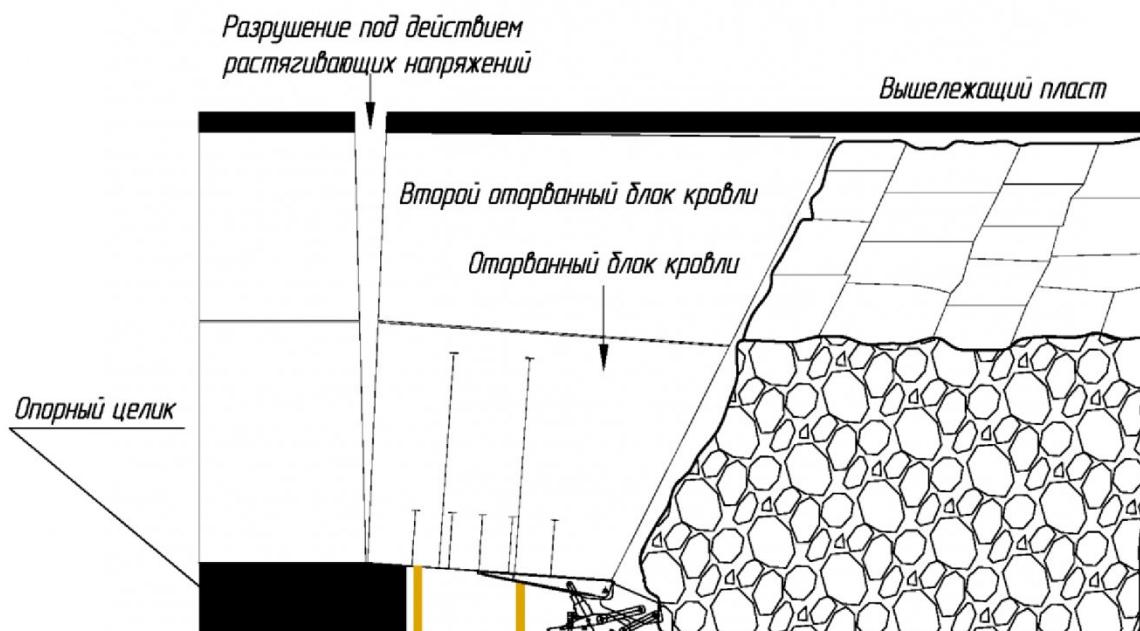


Рис. 2 Обрушение кровли, при въезде очистного комплекса в демонтажную выработку, по второму типу

ных случаев въезда позволил их типизировать. Первый тип связан с обрушением слабой непосредственной кровли перед секциями механизированной крепи (рис. 1). Второй тип связан с влиянием тяжёлой кровли при относительно слабой непосредственной кровле (рис. 2).

Установлено что, обрушение по первому типу происходит, когда в кровле находятся породы с низкими прочностными характеристиками, а плотность установки и несущая способность анкерной крепи установленной в демонтажной выработке недостаточна, для того чтобы компенсировать увеличение пролёта демонтажной выработки, на ширину ограждающего целика потерявшего несущую способность.

Обрушения и аварийный въезд второго типа происходит, когда оторвавшиеся блоки основной

и непосредственной кровли движутся совместно относительно точки вращения расположенной над опорным целиком. Нагрузка от оторвавшихся блоков кровли превышает несущую способность секций механизированной крепи, происходит посадка крепи «кнастко». При этом величина нагрузки на секции крепи очистного забоя никак не зависит от плотности установки и несущей способности анкерной крепи установленной в демонтажной выработке, так как анкерная крепь движется вместе с блоками кровли.

На основе обобщённого опыта въезда в различных горно-геологических условиях, на рис.3 представлен точечный график распределения въездов в демонтажную камеру в зависимости от глубины и индекса типа кровли.

На графике выделены две области, в которых

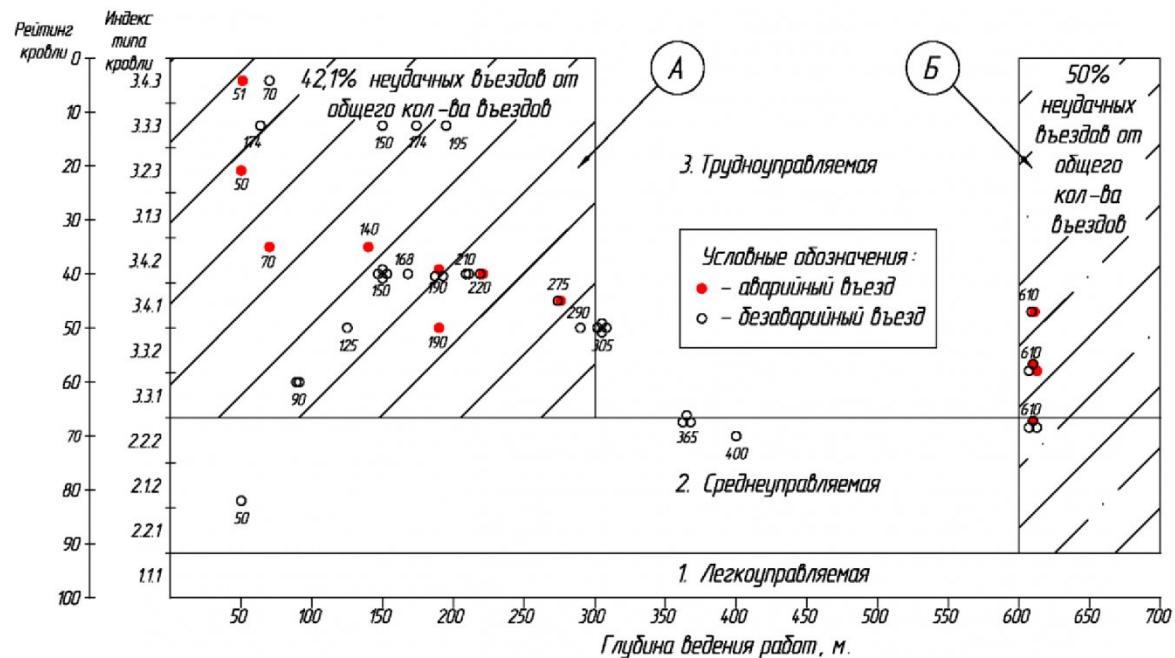


Рис. 3 Точечный график распределения въездов в демонтажную камеру в зависимости от глубины и индекса типа кровли (рейтинга кровли по иностранной классификации)

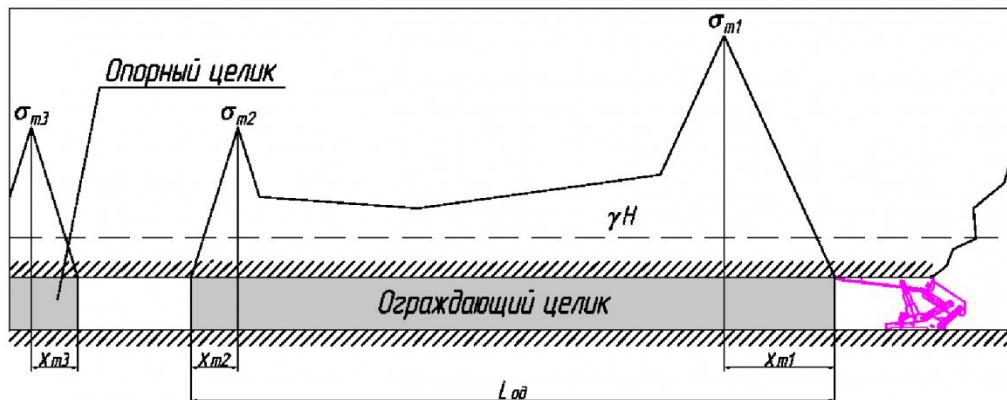


Рис. 4 Начальный период въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку.

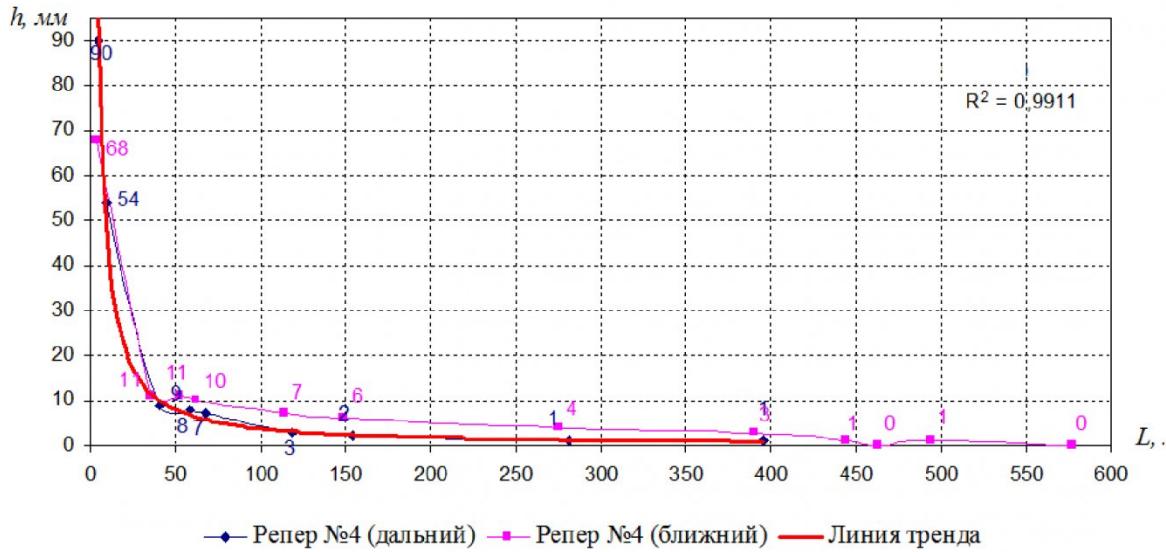


Рис. 5 График конвергенции «кровля-почва» передовой выработки от расстояния до очистного забоя.

происходило максимальное количество аварийных въездов.

Первая область (А) характерна для глубин до 300 м и в зонах с трудноуправляемой кровлей 42,1% от общего числа.

Вторая (Б) для глубин свыше 600 м и двумя типами кровли трудноуправляемой и среднеуправляемой 50% от общего числа. Из графика можно сделать выводы о границах применения

технологии и вероятности возникновения аварийных случаев.

Процесс формирования напряженно-деформированного состояния в окрестности предварительно пройденной демонтажной выработки при въезде в неё очистного забоя рассмотрен ниже на примере выемочного столба 5а-10-18 ш. Распадская.

Под понятием «въезд» стоит понимать – отра-

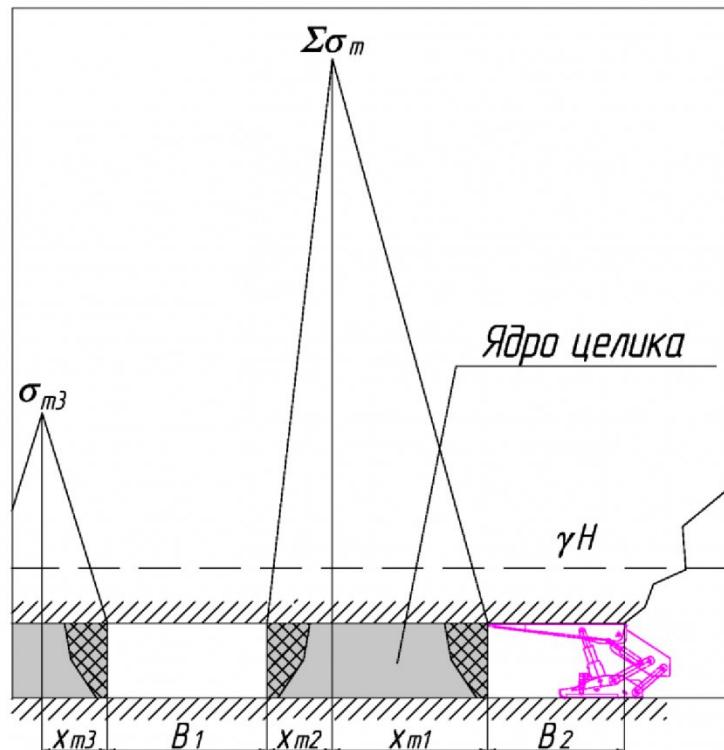


Рис. 6 Схема формирования ядра в ограждающем целике демонтажной выработки

ботку выемочного столба очистным механизированным комплексом с расстояния до демонтажной выработки равным ширине зоны опорного давления $L_{од}$ впереди очистного забоя (рис. 4).

По мере приближения очистного забоя к выработке, максимум опорного давления σ_{m1} от движущегося очистного забоя смещается к максимуму демонтажной камеры σ_{m2} , при этом происходит сложение опорных давлений, а краевая часть ограждающего целика воспринимает суммарную нагрузку, что выражается в увеличении конвергенции «кровля-почва» в демонтажной выработке (рис. 5). Для условий ш. Распадская пласти 10 и глубины работ 330 м величина конвергенции (h) описывается функцией ширины ограждающего целика:

$$h = 562 \cdot (L)^{-1.09}$$

где L – расстояние от очистного забоя до демонтажной выработки, м.

Два типичных сценария аварийных въездов были сопряжены с заключительной стадией въезда, а именно с моментом, когда ограждающий целик теряет несущую способность. Опираясь на практические исследования и теоретические исследования в других работах [3] было выявлено, что в ограждающем целике возникает запредельное напряженное состояние части целика находящегося во всестороннем сжатии, так называемое ядро целика.

Ядро находится в стабильном состоянии (рис. 5), но только до того момента пока боковой отпор бортов ограждающего целика уравновешивает значение горизонтального напряжения ядра целика. Численно ширина ограждающего целика x потерявшего несущую способность можно выразить через формулу:

$$x = 0,5 \cdot (x_{m1} + x_{m2})$$

где x_{m1}, x_{m2} – расстояний до максимумов опорного давления от очистного забоя и демонтажной выработки соответственно, м.

Очевидно, что решив вопросы по напряжённо-деформированному состоянию массива вмещающих пород и определив нагрузки на крепь демонтажной камеры и секций механизированной крепи можно дать ответ на возможность применения технологии ППДВ. Задача решается путём исключения возможности появления обрушений кровли в демонтажной выработке по первому и второму типу (рис. 1, 2).

Нагрузку на анкерную крепь выработки можно определить с помощью теории свода давления [4]. Требуется определить нагрузку на крепь выработки Q кН/м², расположенной в зоне очистных работ с учётом незакреплённого пролёта x над ограждающим целиком потерявшим несущую способность (рис. 7).

Считаем, что нагрузка на крепь передаётся не от всего свода давления, а только от частей лож-

ной, непосредственной и основной кровли обладающих техногенной трещиноватостью в зоне влияния очистных работ.

Если в кровле находятся породы, относящиеся к группе тяжёлых по нагрузочным свойствам, согласно единой отраслевой классификации кровель [5], то в расчете принимают полную суммарную мощность ложной Z_l , непосредственной кровли Z_h и части основной обладающей техногенной трещиноватостью h_o (ослабленная пачка). Для средних и легких типов кровли принимается к расчёту только суммарная мощность ложной кровли Z_l и части непосредственной кровли подверженная техногенной трещиноватости h_h (ослабленная пачка).

В расчетах кровля демонтажной камеры была представлена, согласно единой отраслевой классификации кровель, тремя типами по нагрузочным свойствам: легкой, средней и тяжёлой. Расчётная ширина демонтажной выработки находилась в пределах от 3 до 12 м, расчет производился с шагом 1 м. Диапазон ширины камеры был подобран в соответствии с отечественным и зарубежным опытом применения технологии въезда в предварительно пройденную демонтажную выработку.

По результатам исследования составлен график зависимости ожидаемой нагрузки на крепь демонтажной выработки в зависимости от характеристики кровли и ширины демонтажной выработки (рис. 8). Из графика видно что:

- с увеличением ширины демонтажной выработки нагрузка на анкерную крепь падает, уменьшение нагрузки на крепь поддерживающей единичную площадь демонтажной выработки связано с долей участия незакрепленного пролёта кровли x над ограждающим целиком, потерявшим несущую способность, чем больше ширина выработки, тем меньше доля влияния, так как длина пролёта x , при данных условиях величина постоянная;

- ожидаемая нагрузка на крепь демонтажной выработки для легкоуправляемой кровли на 20-25% выше чем у средней кровли, это связано с тем что в случае с лёгкой кровлей в её структуре находится больший объём пород с низкими прочностными характеристиками, что увеличивает свод давления;

Для определения ожидаемой нагрузки на механизированную крепь, требуется определить нагрузку на секции механизированной крепи в начале и конце процесса въезда. На начальном этапе въезда, который находится на значительном удалении от монтажной камеры, на секции крепи оказывают основное нагружающее воздействие $P_{ш}$ кН/м² только блоки основной и непосредственной кровли при периодическом шаге обрушения $R''_{пр}$ и $R^o_{пр}$ соответственно [6].

Однако на заключительном этапе въезда, при потере несущей способности ограждающего целика, секции крепи воспринимают дополнительный

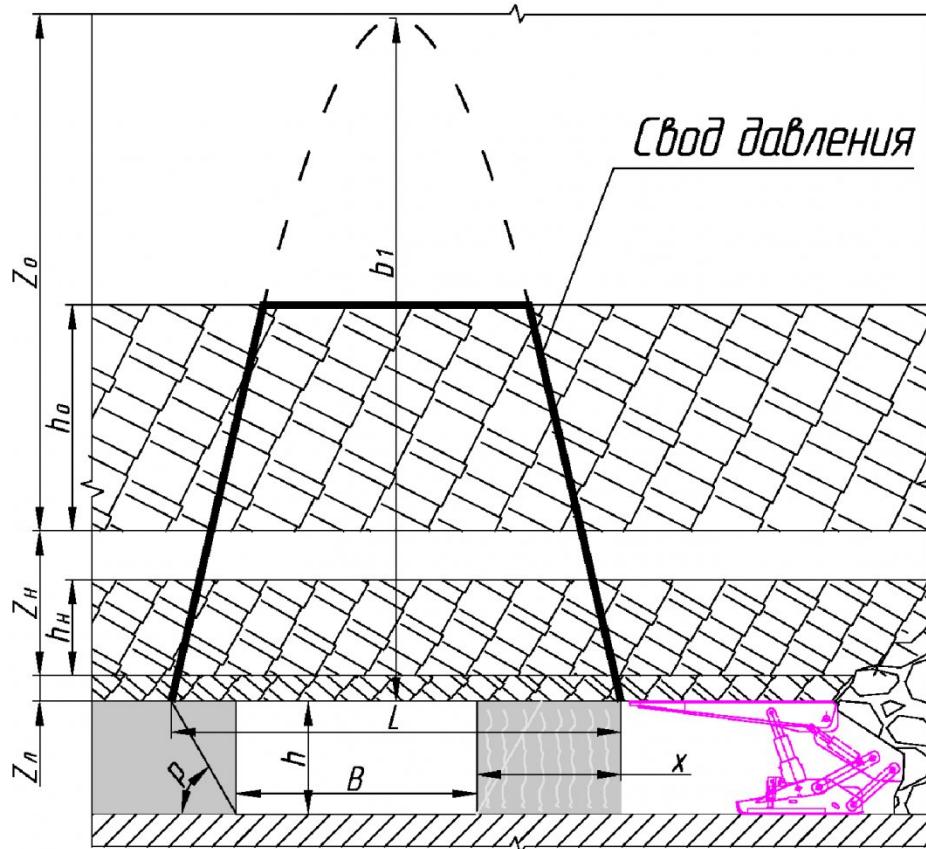


Рис. 7 Расчетная схема к определению нагрузки на крепь выработки Q , расположенной в зоне влияния очистных работ в момент разрушения целика угля между демонтажной выработкой и очистным забоем

источник нагрузки P_{np} kH/m^2 – это нагрузка от оторвавшихся блоков пролёта над демонтажной выработкой основной и непосредственной кровли движущихся совместно относительно точки вращения расположенной над опорным целиком [7, 8].

Суммируя полученные нагрузки P_{sh} и P_{np} от двух источников нагрузки, мы получаем искомую величину P_p ожидаемой нагрузки на секции механизированной крепи.

$$P_p = P_{sh} + P_{np}$$

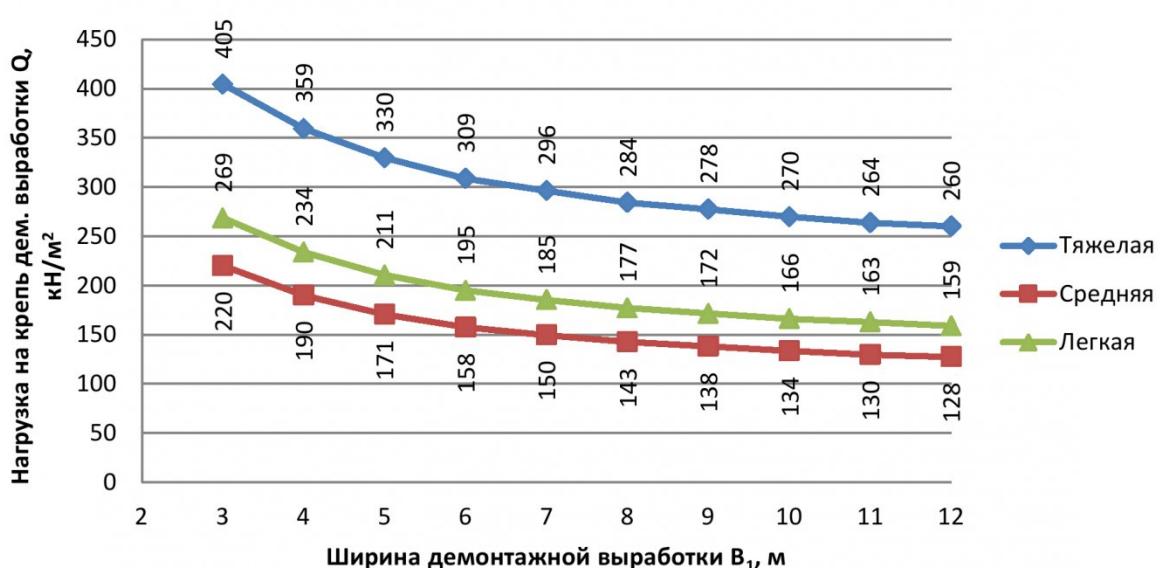


Рис. 8 Ожидаемая нагрузка на анкерную крепь демонтажной выработки Q в зависимости от характеристики кровли и ширины

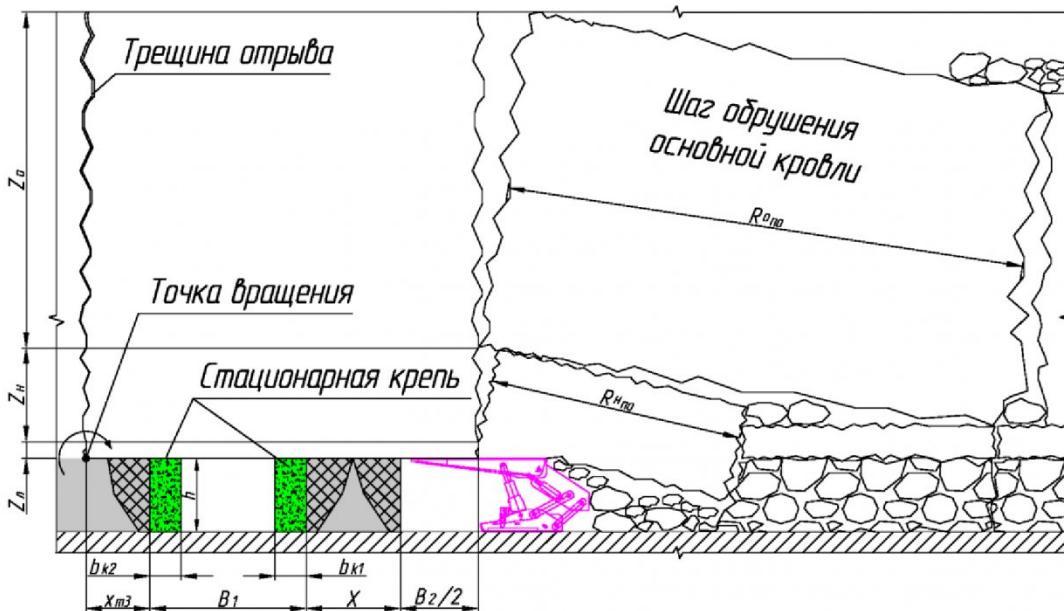


Рис. 9 Расчетная схема к определению нагрузки на секцию мех. крепи, стационарную крепь, установленную в демонтажной выработке при въезде очистного механизированного комплекса в демонтажную выработку

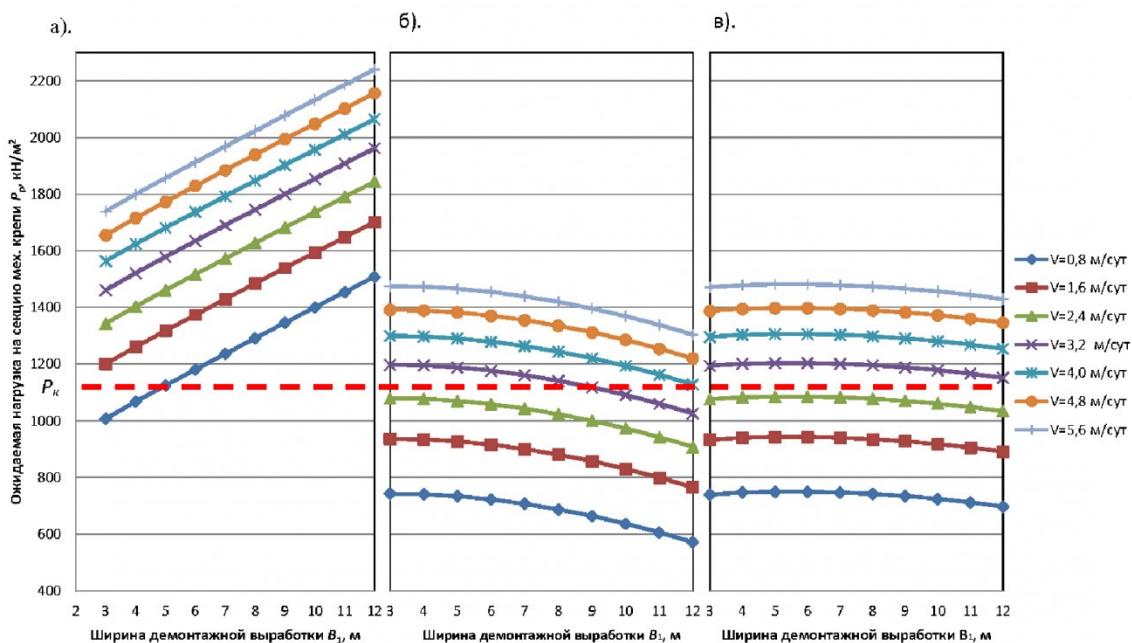


Рис. 10 График зависимости ожидаемой нагрузки на секцию механизированной крепи \$P_p\$ от ширины демонтажной выработки и скорости подвигания очистного забоя при тяжёлой кровле. а). стационарная крепь не установлена, б). одна опора стационарная крепи, в). две опоры стационарной крепи.

где \$P_p\$ – суммарная расчетная нагрузка на секции механизированной крепи, кН/м²; \$P_{\text{ш}}\$ – ожидаемая нагрузка от блоков основной и непосредственной кровли при периодическом шаге обрушения, кН/м²; \$P_{\text{пр}}\$ – ожидаемая нагрузка пролёта оторвавшихся блоков кровли расположенных над демонтажной выработкой, кН/м².

Условие успешного въезда можно выразить следующим образом:

$$P_p < P_k$$

где \$P_k\$ – сопротивление секции механизированной крепи, кН/м².

Расчетная схема для определения \$P_{\text{ш}}\$ и \$P_{\text{пр}}\$ представлена на рис. 9. В данной схеме кровля, между опорным целиком и очистным забоем, представлена многопролётной неразрезной балкой.

Результат расчета суммарной нагрузки \$P_p\$ на

секцию механизированной крепи при тяжелой кровле, представлен на рис. 10.

Из представленного графика рис. 10 *a* (тяжелая кровля, стационарная крепь не установлена) видно, что при сопротивлении секции механизированной крепи P_k равном $1100 \text{ кН}/\text{м}^2$, безаварийный въезд возможен только в демонтажную выработку шириной 3-5 м со скоростью движения очистного забоя $V=0,8 \text{ м}/\text{сут}$. Данные параметры въезда показывают, что использование технологии при тяжелой кровле без установки дополнительных опор стационарной крепи практически невозможнo.

Рис. 10 *b* и 10 *c* показывают, что при условии установки в демонтажной выработке опор стационарной крепи, параметры безаварийного въезда практически идентичны. Безаварийность въезда, при скорости подвигания очистного забоя до $V=2,4 \text{ м}/\text{сут}$, обеспечена на всём расчётном диапазоне ширины камеры от 3 до 12 м. При этом с точки зрения более равномерного распределения опорного давления на опоры стационарной крепи, в демонтажных выработках шириной более 5 м, вариант с двумя опорами предпочтителен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tadolini, S. C.*, 2003, "Ground Control Support Considerations for Pre-Driven Longwall Recovery Rooms," Ph. D. Dissertation submitted to College of Engineering and Minerals Resources, West Virginia University, Morgantown, WV, 163 pp.
2. *S. C. Tadolini, T. M. Barczak*. Design parameters of roof support systems of pre-driven longwall recovery. NIOSH. Pittsburgh, PA
3. *Луций М. Г., Баклушин Ю. И. и др.* Опыт применения канатных анкеров в качестве крепи усиления демонтажных камер и выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством. Под редакцией В. Ю. Изаксона; Институт угля и углехимии СО РАН, – Кемерово, 2008 г. – 220с.
4. *Станкус В. М.* Механика горных пород и устойчивость выработок шахт Кузбасса / В. М. Станкус, В. Г. Кожевин. – Кем. книжное издательство, 1973 г. – 348 с.
5. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35° . Л., 1982, 136 с. (Министерство угольной промышленности СССР)
6. Временное руководство по расчету первичного и последующего шагов обрушений пород кровли при разработке угольных пластов длинными столбами по простирианию в условиях Кузбасса. – Кемерово, 1973. – 26 с.
7. *Калинин С. И.* Геомеханическое обеспечение эффективной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей механизированными комплексами / С. И. Калинин, В. М. Колмогоров. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2002. – 113 с.
8. *Филимонов К. А.* Управление состоянием массива горных пород / К. А. Филимонов, Р. Р. Зайнуллин, Д. В. Зорков. – Кузбас. гос.техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2014. – 239 с.

Авторы: статьи

Зорков Даниил Викторович
ст. преподаватель каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом КузГТУ,
email: zorghoff@rambler.ru

Ренев Алексей Агафонгелович
доктор техн. наук, проф. каф каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом КузГТУ , email: raa.rmp@kuzstu.ru

Цибаев Сергей Сергеевич
ассистент каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом КузГТУ ,
email: crazyzero@rambler.ru