

УДК 622.831:539.3

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.144.178>

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОРОД ЗАБОЯ ВЫРАБОТКИ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ИХ РАЗРУШЕНИЯ

¹Шматовский Л.Д., ¹Тынына С.В., ¹Ананьева О.И.¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ НАПРУЖЕНЬ ПОРІД ВИБОЮ ВИРОБКИ НА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ЇХ РУЙНУВАННЯ

¹Шматовський Л.Д., ¹Тинина С.В., ¹Ананьєва О.І.¹Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

HOW NATURAL STRESS OF ROCKS IN THE ROADWAY FACE IMPACTS ON POWER PARAMETERS OF PROCESS OF THEIR DESTRUCTION

¹Shmatovskiy L.D., ¹Tynyna S.V., ¹Ananyeva O.I.¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine

Аннотация. Учитывая, что в настоящее время большинство шахт отрабатывает пласты, склонные к газодинамическим явлениям, возникает необходимость создания средств для безопасного проведения выработок по выбросоопасным породам. Такими породами являются песчаники. Начиная с глубины 700 м и более, появились выбросы песчаников и газа при проведении выработок взрывным способом.

Основным направлением решения этой важнейшей народно-хозяйственной и социальной проблемы является разработка и изыскание способа и средств, позволяющих эффективно предотвращать выбросы пород и газа.

Исходя из опыта работ наиболее эффективным способом, позволяющим предотвращать выбросы, является безвзрывной комбайновый способ проведения выработок.

Широкое промышленное внедрение этого способа сдерживается отсутствием серийно выпускаемых промышленностью проходческих комбайнов, способных эффективно и безопасно работать в сложно напряженных породах.

При установлении рациональных режимов разрушения и выборе основных параметров исполнительных органов машин, предназначенных для проведения выработок в сложно напряженных породах, необходимо учитывать степень влияния естественных напряжений призабойной зоны проводимой выработки на показатели процесса разрушения.

Исследованиями последних лет показано, что расчёты процесса разрушения горных пород, например, дисковыми шарошками лобового и тангенциального действия целесообразно выполнять на основе надёжных корреляционных связей между основными параметрами процесса и определенными показателями прочности массива или его сопротивляемости разрушению. Таким показателем является показатель контактной прочности. Определяется этот показатель, как правило, на образцах породы. Однако образцы породы, извлечённые из сложно напряженного горного массива теряют естественные напряжения, что может существенным образом сказаться на величине контактной прочности.

В результате решения поставленной задачи установлена взаимосвязь между напряжениями, которые испытывает приповерхностный слой породы в месте воздействия на него породоразрушающего инструмента, напряжениями предельно упругого состояния породного массива и естественными напряжениями. Эта зависимость получена на основании энергетической теории прочности и имеет нелинейный характер. Её проверка проведена в лабораторных и шахтных условиях. Она введена в расчётные формулы силовых и энергетических параметров дисковых шарошек лобового и тангенциального действия комбайнового рабочего органа роторного типа. Это позволило установить влияние естественных напряжений на расчётные силовые и энергетические показатели разрушения пород лбовыми и тангенциальными шарошками. На основе анализа полученных зависимостей установлено следующее. При фиксированных значениях силовых показателей шаг разрушения для лбовых шарошек и высоту уступа для тангенциальных шарошек необходимо увеличивать по мере роста естественных напряжений разрушаемых пород в 1,5-2,0 раза по сравнению с соответствующими величинами, рекомендуемыми для ненапряженных пород. Величина подачи дисковых шарошек на забой напряженных пород ограничивается величиной безопасной скорости проходки, которая находится в пределах 0,5-1,5 м/ч в зависимости от степени напряжённости пород.

Ключевые слова: выработка, выбросоопасность, проходческий комбайн роторного типа, лбовая и тангенциальная шарошка

1 Введение

При установлении рациональных режимов разрушения и выборе основных параметров исполнительных органов машин, предназначенных для проведения выработок в сложно напряженных горных породах, необходимо учитывать степень влияния естественных напряжений призабойной зоны проводимой выработки на показатели процесса разрушения. Такой класс задач можно решать методом суперпозиции, то есть путём нахождения общего поля напряжений, обусловленных как действием горного давления, так и породоразрушающего инструмента, с последующим определением теоретических объёмов разрушения.

Однако для теоретического описания общего напряженного состояния пород приповерхностной зоны с учётом напряжений от инструмента необходимо решать объёмную задачу, что сопряжено со значительными математическими трудностями.

Численные методы – громоздки, а полуэмпирические требуют знания физики явления.

В этой связи, в последнее время показано, что расчёты процесса разрушения горных пород целесообразно выполнять на основе надёжных корреляционных связей между основными параметрами процесса и определенными показателями прочности массива или его сопротивляемости разрушению. Не располагая достоверными характеристиками фактического сопротивления, оказываемого горной породой разрушающему воздействию инструмента, нельзя рационально проектировать рабочие органы, определять оптимальные режимы их эксплуатации, правильно оценивать их область применения и т.д. Из числа общих характеристик, предназначенных для сравнительной оценки сопротивляемости горных пород разрушению, заслуживает предпочтение показатель контактной прочности. Определяется этот показатель, как правило, на образцах породы. Однако здесь необходимо иметь в виду следующее. Образцы породы, извлечённые из сложнонапряжённого горного массива для испытания на контактную прочность, могут максимально сохранять типичные свойства в отношении состава, структуры и текстуры тех горных пород, которые они представляют, но при этом теряют естественные напряжения, присущие горному массиву, что может существенным образом сказаться на величине контактной прочности.

2 Постановка задачи и формулировка цели

Целью приведённых исследований является установление влияния естественных напряжений пород забоя выработки на силовые параметры процесса их разрушения за счёт показателя контактной прочности.

Указанное следует считать основанием необходимости установления зависимости показателей сопротивляемости горной породы от её естественных напряжений.

В результате решения вышепоставленной задачи [1] установлена взаимосвязь между напряжениями (σ_M), которые испытывает приповерхностный слой породы в месте воздействия на него породоразрушающего инструмента, напряжениями ($\sigma_{УПР}$) предельно упругого состояния породного массива и естественными (σ_E) напряжениями предельно упругого состояния массива в виде:

$$\sigma_M = \sigma_{УПР} \sqrt{1 - K^2}, \quad (1)$$

где $K = \frac{\sigma_E}{\sigma_{УПР}}$ – коэффициент, учитывающий влияние естественных напряжений на предельно упругое состояние разрушаемых пород.

Эта зависимость (1) получена на основании энергетической теории прочности.

Естественные напряжения σ_E , входящие в эту зависимость, определяются через главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Зависимость (1) позволяет установить связь напряжений от воздействия инструмента σ_M с естественными напряжениями σ_E разрушаемых хрупких горных пород. Физический смысл коэффициента K (1) заключается в том, что он отражает степень влияния естественных напряжений на предельное упругое состояние породного массива в рассматриваемой точке. Величина его может изменяться от нуля до единицы. При достижении естественных напряжений величины, равной пределу упругости пород в рассматриваемом объёме, т.е. когда $K = 1$, произойдёт саморазрушение этого объёма пород. Такие явления наблюдаются в практике ведения проходческих работ в существенно напряженных выбросоопасных песчаниках, когда на забое выработки происходит "шелушение", а в общем объёме разрушенного при выбросе массива значительная часть песчаника превращается в песок.

Учитывая, что при установлении эффективности работы механических породоразрушающих инструментов за основной показатель сопротивляемости пород разрушению принимается контактная прочность, имеющая корреляционную связь с силовыми параметрами указанного процесса, зависимость (1) необходимо преобразовать к виду, удобному для практического использования в расчётных формулах.

Таким образом, после соответствующих преобразований, а также ввиду пропорциональности контактной прочности хрупких пород их пределу прочности, зависимость (1) будет иметь вид:

$$P'_K = P_{K_0} \sqrt{1 - K^2}, \quad (2)$$

где P'_K – контактная прочность приповерхностного слоя горной породы, находящейся в сложнапряжённом состоянии, МПа; P_{K_0} – контактная прочность той же породы, но свободной от естественных напряжений (паспортная характеристика), МПа.

Характер расчётной зависимости (2) приведён на рис. 1. В качестве исходного показателя P_{K_0} взята экспериментально установленная по известной методике на образцах, свободных от естественных напряжений, контактная прочность ($P_{K_0} = 130$ МПа) песчаника, отобранного в забое северного полевого воздухоподающего штрека шахты им. А.Г. Стаханова.

Анализируя приведённую зависимость (рис. 1), можно отметить следующее. С ростом значений K от 0 до 0,7 контактная прочность песчаника уменьшается незначительно, всего на 30 %. Когда же естественные напряжения достигают величины более 70 % предела прочности, то здесь имеет место резкое снижение контактной прочности.

3 Экспериментальные исследования

Результаты комплексных исследований, проведённых в лабораторных условиях и при испытаниях проходческого комплекса «Союз-19» на шахте им. А.Г. Стаханова ПО «Красноармейскуголь», позволили установить основные зависимости и разработать методические положения по расчёту усилий разрушения напряженных горных пород тангенциальными и лобовыми дисковыми шарошками¹. В качестве базовых зависимостей, отражающие связь между величинами усилий при работе дисковых шарошек и контактной прочностью разрушаемых пород были приняты расчётные формулы, приведённые в работах ИГД им. А.А. Скочинского (Россия) [2]. Последние являются результатом обработки многочисленных экспериментальных данных по разрушению ненапряженных пород, сопротивляемость которых определялась на образцах, свободных от естественных напряжений. В то же время результаты аналитических и экспериментальных исследований, выполненные в ИГТМ НАН Украины показали, что естественные напряжения реального массива существенно влияют на силовые параметры процесса разрушения. Следовательно, чтобы зависимости, приведённые в работах ИГД им. А.А. Скочинского, сделать универсальными, т.е. пригодными и для расчёта основных параметров исполнительного органа проходческого комбайна, предназначенного для проведения выработок в напряженных породах, необходимо в соответствующие формулы вместо P_K ввести выражения P'_K (2), учитывающие естественные напряжения разрушаемых пород. Тогда для определения усилий, возникающих непосредственно на контакте дисковых шарошек с напряженной горной породой, будут справедливы зависимости:

а) для дисковых шарошек лобового действия

$$P_Z^A = 0,25_e^{0,021t} (0,19h + 0,24)(0,22\rho + 0,78) \times \left[8,9P_{K_0} \sqrt{1 - K^2} - 0,016P_{K_0}^2 (1 - K^2) + 122 \right]; \quad (3)$$

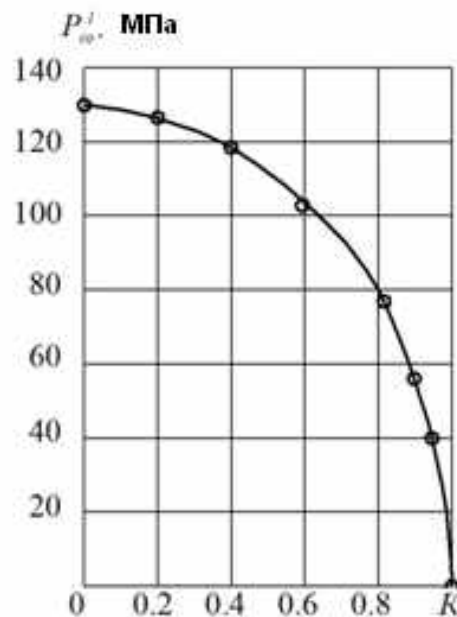


Рисунок 1 – Расчётная зависимость показателя контактной прочности от степени концентрации естественных напряжений

¹ Экспериментальные исследования влияния напряжений в приповерхностной зоне забоя выработки на показатели сопротивляемости горных пород механическому разрушению: отчет о НИР (промежуточ.) / ИГТМ НАН Украины: рук. Шматовский Л.Д., исполн. Тынына С.В. и др. Днепропетровск, 2014. 95 с. № ГР 0111U005128, Инв. № 7532.

$$P_Y^\Lambda = 0,25_e^{0,021t} (0,17h + 0,32)(0,0035D_{III} + 0,64) \times \\ \times (0,22\rho + 0,78) \left[43,5P_{K_0} \sqrt{1-K^2} - 0,045P_{K_0}^2 (1-K^2) + 528 \right]; \quad (4)$$

б) для дисковых шарошек тангенциального действия

$$P_Z^T = P_{K_0} \sqrt{1-K^2} K \rho_Z K \alpha_Z (0,01Hh + 1,1H^{0,1} + 0,075h^{1,2}); \quad (5)$$

$$P_Y^T = P_{K_0} \sqrt{1-K^2} K \rho_Y K \alpha_Y (0,01Hh + 0,21H + 1,9h^{0,8}); \quad (6)$$

$$P_X^T = P_{K_0} \sqrt{1-K^2} K \rho_X K \alpha_X (0,03Hh + 0,94^{0,5} + 3,64h). \quad (7)$$

Результирующие усилия при разрушении пород различной степени напряжённости дисковыми шарошками лобового и тангенциального действия с учётом (3) – (7) будут соответственно равны

$$P_0^\Lambda = \sqrt{(P_Z^\Lambda)^2 + (P_Y^\Lambda)^2}; \quad (8)$$

$$P_0^T = \sqrt{(P_Z^T)^2 + (P_Y^T)^2 + (P_X^T)^2}. \quad (9)$$

В зависимостях (3) – (9) приняты следующие обозначения: P_Z^Λ , P_Y^Λ – соответственно усилия перекатывания и подачи дисковой шарошки лобового действия; t – шаг разрушения, мм; h – шаг подачи лобовой тангенциальной шарошки, мм; ρ – радиус закругления рабочей кромки диска шарошки, мм; P_{K_0} – контактная прочность породы, свободной от естественных напряжений, МПа; K – коэффициент, учитывающий влияние естественных напряжений на упругое состояние разрушаемых пород; D_{III} – диаметр шарошки, мм; P_Z^T , P_Y^T , P_X^T – соответственно усилия перекатывания, подачи и бокового отжима тангенциальной дисковой шарошки; H – высота уступа, мм; $K\rho$, $K\alpha$ – коэффициенты, учитывающие соответственно влияние затупления инструмента и степень обнажения уступов; R_0^Λ , R_0^T – соответственно результирующие усилия, необходимые для разрушения породы дисковой шарошки лобового и тангенциального действия.

В формулах (5) – (7) при коэффициентах, учитывающих затупление инструмента $K\rho_{Z,Y,X}$ и степень обнажения уступов $K\alpha_{Z,Y,X}$, первый индекс указывает влияющий параметр, а второй – вид усилия, на которое оказывается влияние: Z – усилие перекатывания; Y – усилие подачи и X – усилие бокового отжима.

С целью подтверждения влияния естественных напряжений разрушаемых пород на силовые показатели процесса разрушения по зависимостям (8) и (9) с учётом (3) – (7) построен график, приведённый на рис. 2. Расчёт выполнен применительно к исполнительному органу комбайна «Союз-19». Исходные данные: $P_{K_0} = 130$ МПа; $H = 80$ мм; $t = 40$ мм; $h = 6,5$ мм; $\rho = 4$ мм; коэффициенты $K\rho$ и $K\alpha$ приняты по данным работ ИГД им. А.А. Скочинского.

Анализируя график рис. 2, необходимо отметить следующее. По мере увеличения напряжённости разрушаемых пород силовые показатели, процесса разрушения уменьшаются по нелинейному закону. Так, с ростом коэффициента напряжённости K от 0 до 0,7 результирующие усилия R_0^Λ и R_0^T уменьшаются незначительно, всего на 30 %. Когда же естественные напряжения достигают

величины более 70 % предела прочности разрушаемой породы, то здесь наблюдается резкое снижение усилий разрушения и при $K \approx 1$ будет иметь место самоподдерживающееся разрушение породы, что может привести к внезапным её выбросам. Отсюда следует вывод, что с целью снижения рабочих нагрузок, возникающих непосредственно на контакте шарошек с напряженной горной породой, и предотвращения развития самоподдерживающегося её разрушения рациональный режим работы исполнительного органа проходческого комбайна необходимо устанавливать в зависимости от степени напряженности разрушаемой породы.

На рис. 3 показан характер изменения силовых показателей процесса разрушения реально напряженных горных пород по забою выработки единичными инструментами исполнительного органа проходческого комбайна «Союз-19». Расчёт выполнен для одной шарошки лобового действия, расположенной на плоском центре по концентрической окружности диаметром 1,5 м и двух шарошек тангенциального действия, расположенных по концентрическим окружностям диаметром 3 и 4,5 м.

При расчёте соответствующих усилий по формулам (8), (9) показатели контактной прочности взяты из их фактического распределения по забою северного полевого воздухоподающего штрека пл. l_3 при достижении объёма комбайновой проходки $L_1 = 150$ м. Отсчёт угла поворота φ исполнительного органа относительно своей оси производился против часовой стрелки. Анализ графиков (рис. 3) позволяет констатировать, что колебания силовых показателей разрушения напряженных горных пород обусловлены перепадом естественных напряжений, вызывающих количественное изменение контактной прочности на забое выработки.

Результирующие усилия (рис. 3), необходимые для разрушения дисковыми шарошками тангенциального действия, работающими по концентрическим окружностям диаметрами 4,5 и 3,0 м, колеблется соответственно в

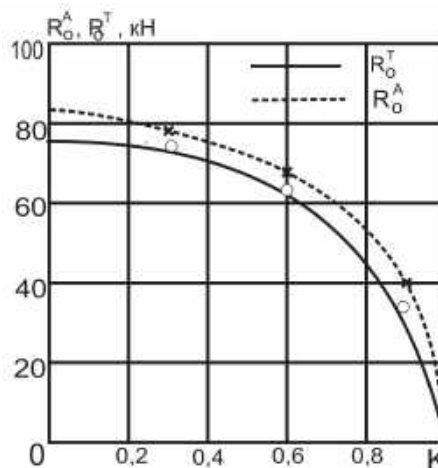


Рисунок 2 – Влияние естественных напряжений на расчётные силовые показатели разрушения пород единичными лобовыми и тангенциальными шарошками применительно к исполнительному органу комплекса «Союз-19»

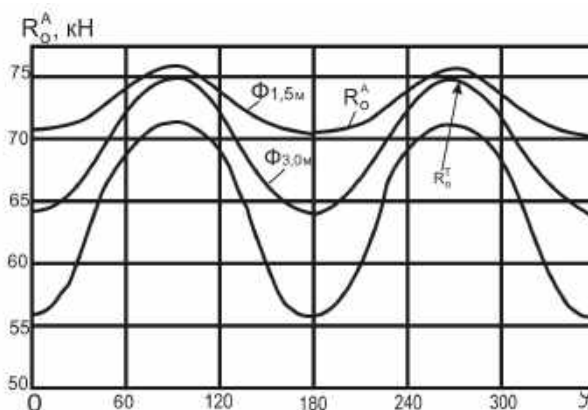


Рисунок 3 – Характер изменения расчётных силовых показателей процесса разрушения напряженных горных пород по забою выработки единичными инструментами исполнительного органа комплекса «Союз-19»

прадедах 55-72 кН и 64-75 кН, в то время как для шарошки лобового действия, работающей по линии резания 1,5 м, колебания этих усилий находятся в пределах 71-76 кН.

Важнейшими режимными параметрами, оказывающими существенное влияние на силовые и энергетические показатели разрушения пород дисковыми шарошками тангенциального действия, являются высота уступа H и шаг подачи h на забой, лобового действия – шаг подачи h и шаг разрушения t . Влияние этих параметров на эффективность процесса разрушения пород, свободных от естественных напряжений, достаточно подробно изучено и приведено в работах ИГД им. А.А. Скочинского [2]. Что же касается влияния режимных параметров на процесс разрушения напряженного массива, то эти вопросы остались практически не исследованными.

Для изучения указанных вопросов воспользуемся расчётными формулами (5) – (9), приведёнными ранее. Ниже приведены результаты, отражающие влияние режимных параметров на показатели разрушения напряженных пород в зависимости от степени их напряжённости.

В качестве разрушаемых пород при этом приняты широко встречающиеся в условиях донецких шахт им. А.Г. Стаханова и А.А. Скочинского песчаники, имеющие контактную прочность в ненапряженном состоянии, равную 120-210 МПа.

На рис. 4 – рис. 5 приведены зависимости, показывающие влияние шага подачи h и высоты уступа H на силовые и энергетические показатели разрушения напряженных пород применительно к проходческому комплексу «Союз-19».

Анализ полученных результатов показал, что при фиксированных значениях силовых показателей шаг подачи h и высота уступа H увеличиваются по мере роста естественных напряжений разрушаемых горных пород. Так, при высоте уступа $H = 80$ мм с увеличением коэффициента концентрации напряжений K от 0 до 0,8 шаг h увеличивается в 1,6-2,0 раза (рис. 4). Аналогично изменяется и высота уступа H при постоянном шаге подачи комбайна на забой. В качестве примера на рис. 4 показано изменение H для каждой составляющей (P_z , P_x , P_y) усилий, создаваемых тангенциальной шарошкой при изменениях K от 0 до 0,8 и постоянной величине $h = 6,5$ мм. Эти результаты дают основание рекомендовать рациональные соотношения между высотой уступа разрушаемых напряжений и свободных от напряжений горных пород. Для пород средней напряжённости при $K = 0,4-0,6$ соотношение $H_K = 0,4...0,6 / H_K = 0$ изменяется в пределах $\beta_T = 1,2-1,6$; для пород высокой степени напряжённости ($K = 0,6...0,8$) соотношение $H_K = 0,6...0,8 / H_K = 0$ изменяется в пределах $\beta_T = 1,6-2,0$.

Кривые изменения удельных затрат энергии на разрушение напряженных горных пород при различной степени их напряжённости и контактной прочности представлены на рис. 4. Как видно, при изменяющейся высоте уступа H и шаге подачи h удельные затраты энергии для тангенциальных шарошек уменьшаются с ростом концентрации напряжений.

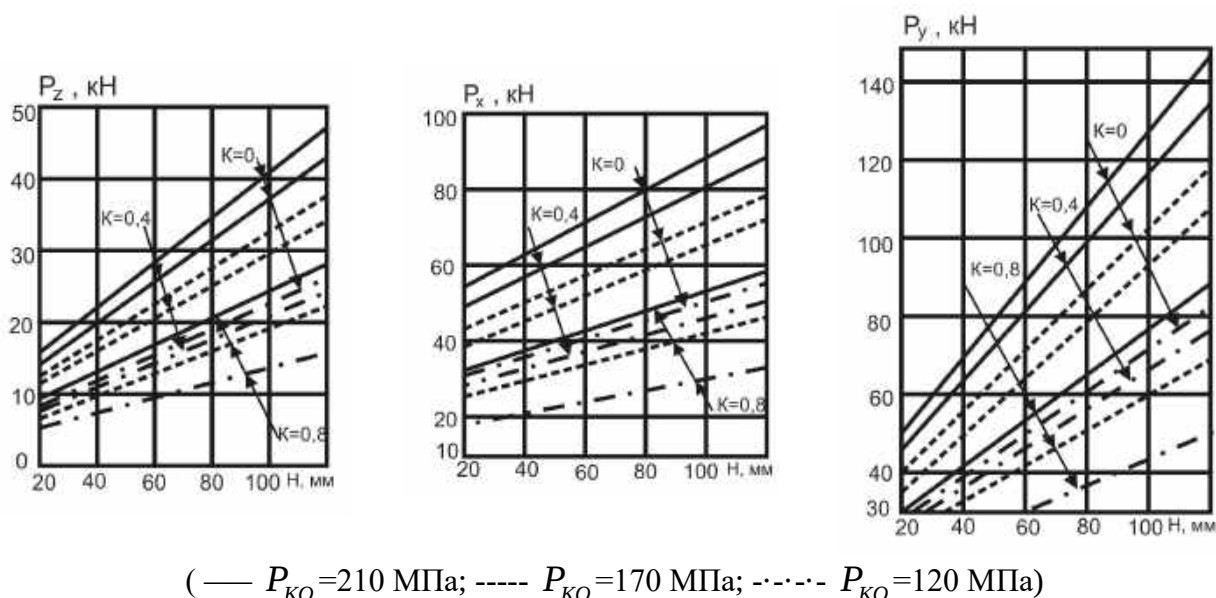


Рисунок 4 – Зависимость усилий P_z , P_y , P_x разрушения напряженных горных пород тангенциальными шарошками от высоты уступа H при шаге подачи $h = 6,5$ мм

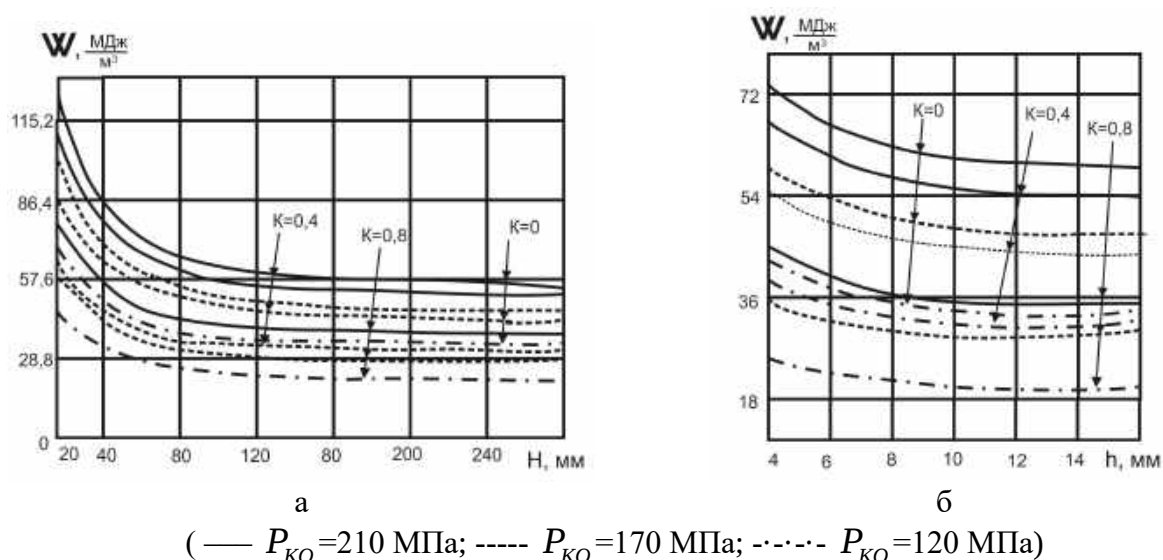


Рисунок 5 – Зависимость удельных затрат энергии W на разрушение напряженных горных пород тангенциальными шарошками: а) от высоты уступа H при шаге подачи $h = 6,5$ мм; б) от шага подачи h при высоте уступа $H = 80$ мм

Кроме того, анализ кривых, приведённых на рис. 4, показывает, что стабилизация удельных затрат энергии W для фиксированных значений коэффициента концентрации напряжений K и различной контактной прочности песчаников происходит при достижении значений высоты уступа $H \geq 80$ мм и шага подачи $h \geq 8$ мм. Следовательно, значения $H \geq 80$ мм и $h \geq 8$ мм следует считать рациональными для разрушения песчаников различной степени напряжённости с контактной прочностью порядка 120-210 МПа.

Средние величины удельных затрат энергии W на разрушение напряженных горных пород тангенциальными шарошками для рациональных значений $H \geq 80$ мм и $h \geq 8$ мм при изменяющихся от 0 до 0,8 коэффициентах

концентрации напряжений для $P_{KO} = 120\text{--}210$ МПа изменяются в пределах $18,0\text{--}61,2$ МДж/м³.

В качестве примера на рис. 6 – рис. 8 приведены графические зависимости силовых и энергетических показателей разрушения пород, различной степени напряжённости от шага подачи h и шага разрушения t для лобовых дисковых шарошек проходческого комплекса «Союз-19».

Анализ зависимости (рис. 6 – рис. 7) показывает, что рациональные соотношения между шагом разрушения напряженных и ненапряженных горных пород при фиксированных значениях силовых параметров имеют следующие значения: для пород средней степени напряжённости при $K = 0,4\text{--}0,6$ соотношение $t_K = 0,4\text{--}0,6 / t_K = 0$ составляет $\beta_\Lambda = 1,0\text{--}1,2$, а для пород высокой степени напряжённости при $K = 0,6\text{--}0,8$ соотношение $t_K = 0,6\text{--}0,8 / t_K = 0$ составляет $\beta_\Lambda = 1,2\text{--}1,5$.

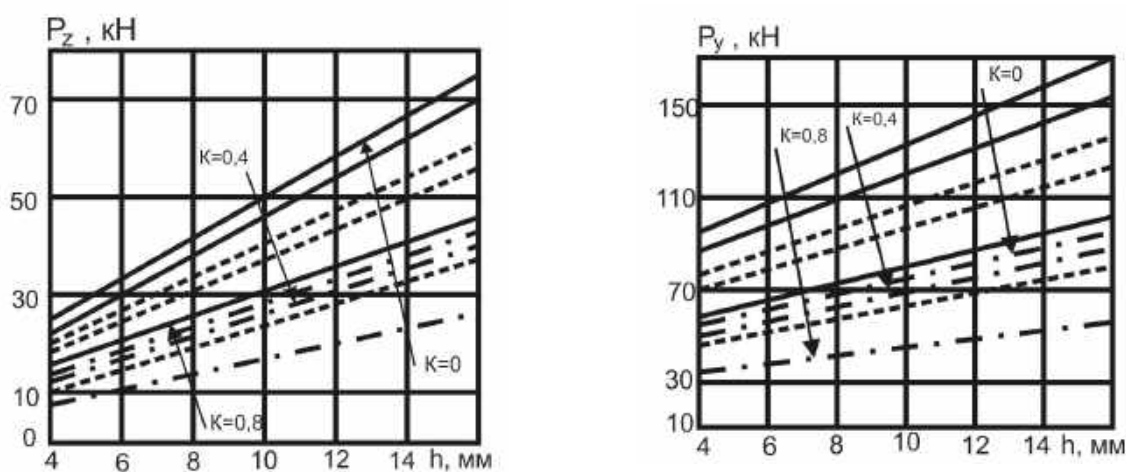


Рисунок 6 – Зависимость усилий P_Z , P_Y разрушения напряженных горных пород лобовыми шарошками от величины подачи h при шаге разрушения $t = 40$ мм

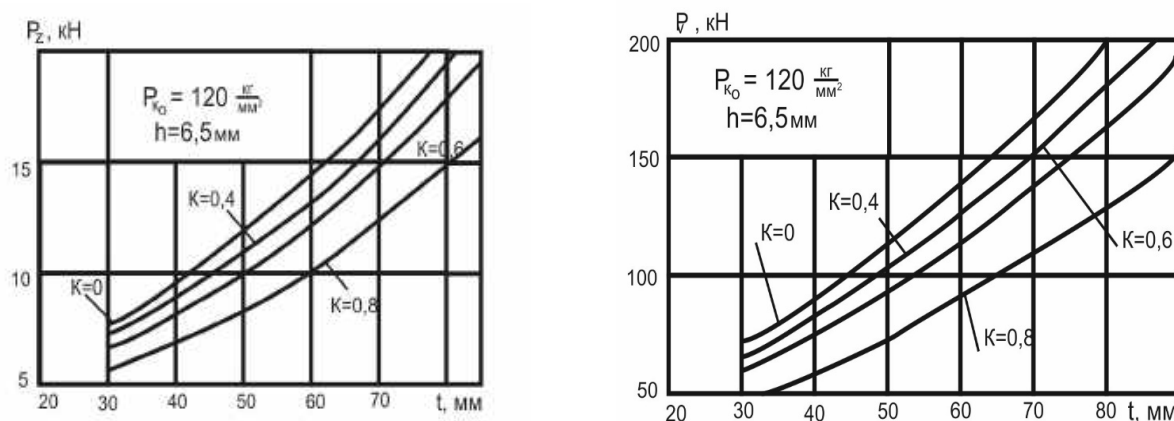


Рисунок 7 – Зависимость усилий P_Z , P_Y разрушения напряженных горных пород лобовыми шарошками от шага разрушения t при величине подачи $h = 6,5$ мм

Анализируя изменение удельных затрат энергии на разрушение напряженных горных пород лобовыми шарошками в зависимости от величины шага разрушения t при фиксированном h (рис. 8), можно отметить, что по мере возрастания шага разрушения показатель W вначале снижается до минимальных значений, а затем начинает возрастать. Минимальные значения удельной

энергоёмкости для различной степени напряжённости песчаника соответствуют шагу разрушения $t = 40-60$ мм. При этом с увеличением степени напряжённости песчаника от 0 до 0,8 удельная энергоёмкость уменьшается соответственно с 36,0 до 25,2 МДж/м³, т.е. в среднем в 1,5 раза.

В заключение отметим, что максимальный шаг подачи исполнительного органа на забой напряженных пород ограничен величиной предельной скорости v . Высоту уступа H для тангенциальных шарошек и шаг разрушения t для лобовых шарошек необходимо увеличить в 1,5-2,0 раза по сравнению с рекомендуемым в работах ИГД им. А.А. Сковинского величинами для ненапряженных пород.

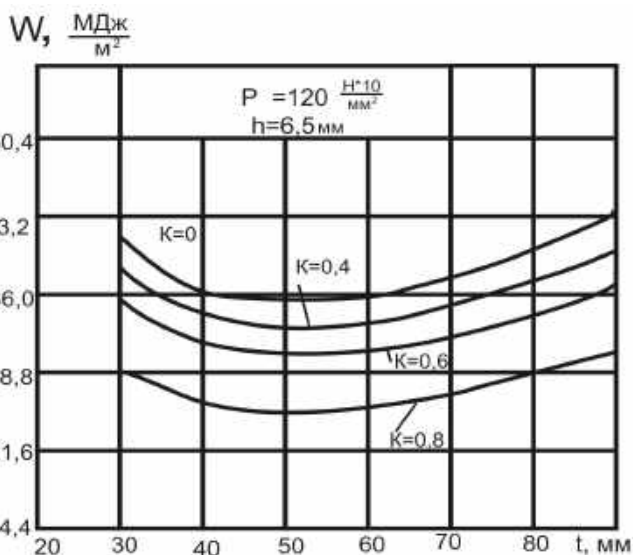


Рисунок 8 – Зависимость удельных затрат энергии W на разрушение напряженных горных пород лобовыми шарошками от шага разрушения t при величине подачи $h = 6,5$ мм

4 Выводы

Анализ результатов исследований взаимодействия породоразрушающих элементов рабочих органов машин с напряженными горными породами позволил установить, что сопротивляемость напряженных пород механическому разрушению в приповерхностном слое забоя зависит от степени напряжённости и уменьшается при увеличении напряжённости по нелинейному закону (рис. 1).

С использованием установленной зависимости, отражающей влияние степени напряжённости пород на их сопротивляемость механическому разрушению разработаны формулы (3-9) для расчёта процесса разрушения приповерхностного слоя напряженного забоя дисковыми шарошками лобового и тангенциального действия.

Выполненные с использованием полученных расчётных формул исследования влияния режимных параметров на силовые и энергетические показатели процесса разрушения напряженных горных пород лобовыми и тангенциальными дисковыми шарошками позволили установить следующее. При фиксированных значениях силовых показателей шаг разрушения t для лобовых шарошек и высоту уступа H для тангенциальных шарошек необходимо увеличивать по мере роста естественных напряжений разрушаемых пород в 1,5-2,0 раза по сравнению с соответствующими величинами, рекомендуемыми для ненапряженных пород. Величина подачи h дисковых шарошек на забой напряженных пород ограничивается величиной безопасной скорости проходки, которая находится в пределах 0,5-1,5 м/час в зависимости от степени напряжённости пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение сопротивляемости естественно напряженных крепких пород массива разрушению проходческими

комбайнами / С.А. Полуянський і др. *Горный журнал*. 1979. № 9. С. 42-44.

2. Барон Л.И., Глатман Л.Б., Загорский С.Л. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. М.: Наука, 1969. 152 с.

REFERENCES

1. Poluyansky, S.A., Shmatovskiy, L.D., Strashko, V.A. et al. (1979), "Determination of resistance of naturally strained hard rock massif to destruction by roadheaders", *Gornyy zhurnal*, no. 9, pp. 42-44.
2. Baron, L.I., Glatman, L.B. and Zagorskiy, S.L. (1969), *Razrusheniye gornyykh porod prokhodcheskimi kombaynami* [Destruction of rocks by roadheaders], Nauka, Moscow, USSR.

Об авторах

Шматовский Леонид Дмитриевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина

Тынына Сергей Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина

Ананьева Ольга Ивановна, инженер, ведущий инженер отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина

About the authors

Shmatovskiy Leonid Dmytrovych, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine

Тынына Sergii Volodymyrovych, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine

Ananyeva Olga Ivanivna, Engineer, Leading Engineer in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine

Анотація. Враховуючи, що нині більшість шахт відпрацьовують пласти, схильні до газодинамічних явищ, виникає необхідність створення засобів для безпечного проведення виробок по викидонебезпечних породах. Такими породами є піщаники. Починаючи з глибини 700 м і більше з'явилися викиди піщаників і газу при проведенні виробок вибуховим способом.

Основним напрямом рішення цієї найважливішої народногосподарської і соціальної проблеми являється розробка і дослідження способу і засобів, дозволяючи ефективно запобігати викидам порід і газу.

Виходячи з досвіду робіт найбільш ефективним способом, що дозволяє запобігати викидам, являється безвибуховий комбайновий спосіб проведення виробок. Широке промислове впровадження цього способу стримується відсутністю прохідницьких комбайнів, що серійно випускаються промисловістю, здатних ефективно і безпечно працювати у складно напружених породах.

При встановленні раціональних режимів руйнування і виборі основних параметрів виконавчих органів машин, призначених для проведення виробок в складно напружених породах, необхідно враховувати міру впливу природних напружень призабойної зони виробок, що проводяться, на показники процесу руйнування.

Дослідженнями останніх років показано, що розрахунки процесу руйнування гірських порід, наприклад, дисковими шарошками лобової і тангенціальної дії доцільно виконувати на основі надійних кореляційних зв'язків між основними параметрами процесу і певними показниками міцності масиву або його опірності руйнуванню. Таким показником є показник контактної міцності. Визначається цей показник, як правило, на зразках породи. Проте зразки породи, витягнуті із складно напруженого гірського масиву втрачають природні напруження, що може істотним чином позначитися на величині контактної міцності.

В результаті рішення поставленої задачі встановлений взаємозв'язок між напруженням, яке випробовує поверхневий шар породи в місці дії на нього породоруйнуючого інструменту, напруженням гранично пружного стану порідного масиву і природних напружень. Ця залежність отримана на підставі енергетичної теорії міцності і має нелінійний характер. Її перевірка проведена в лабораторних і шахтних умовах. Вона введена в розрахункові формули силових і енергетичних параметрів дискових шарошок лобової і тангенціальної дії комбайнового робочого органу роторного типу. Це дозволило встановити вплив природних, напружень на розрахункові силові і енергетичні показники руйнування порід лобовими і тангенціальними шарошками. На основі аналізу отриманих залежностей встановлене наступне. При фіксованих значеннях силових показників крок руйнування для лобових шарошок і висоту уступу для тангенціальних шарошок необхідно збільшувати у міру зростання природних напружень руйнованих порід в 1,5-2,0 рази в порівнянні з величинами, що відповідають, рекомендованим для ненапружених порід. Величина подання дискових шарошок на забій напружених порід обмежується величиною безпечної швидкості проходки, яка знаходиться в межах 0,5-1,5 м/годину залежно від міри напруженості порід.

Ключові слова: виробка, викиднебезпечність, прохідницький комбайн роторного типу, лобова і тангенціальна шарошка

Abstract. With taking into account the fact that today, most of mines develop layers prone to gas-dynamic phenomena, it is necessary to create facilities for safety roadway driving in the prone-to-outburst rocks. Such rocks are sandstones. While driving the roadways by the blast method, outbursts of sandstones and gas occur at the depth of 700 m and more.

The key trend of solving this very important economic and social problem is to develop and design method and facilities, which can effectively prevent rock and gas outbursts.

Basing on the experience of the work, the most effective method allowing preventing the outbursts is driving the roadway by helldiver with no blasts.

Wide application of this method in the industries is restrained by absence of commercial helldivers capable to work effectively and safely in the complex stressed rocks.

In order to set rational modes for the rocks breaking and choose basic parameters for operating member of machines designed for working in the complex stressed rocks, it is necessary to take into account rate of impact of natural stresses in the face area of the driving roadway on parameters of the rock breaking process.

Researches of the last years show that it is reasonable to calculate process of the rock breaking, for example, by the disk rolling cutters of frontal and tangential action on the basis of reliable correlation between basic parameters of the process and certain indexes of strength of the massif or its resistibility to breaking. This index is presented by index of contact strength, which, as a rule, is determined by the rock samples. However, rock samples taken from the complex stressed rocks lose their natural stress, hence, essentially impacting on dimension of the contact strength.

As a result of the set problem solving, a nonlinear interdependence between stresses, which near-surface layer of the rocks experiences in area where rock-cutting tool impacts on it, stresses of the rock elastic-limit state and natural stresses is established on the basis of energetic strength theory and verified in laboratory and mine conditions. Today, it is included into the formulas of power and energy parameters for disk rolling cutters of frontal and tangential action in the ring-type work member of helldiver. It allowed establishing impact of natural tensions on designed power and energy indexes of the rock breaking by frontal and tangential rolling cutters. On the basis of analysis of the established dependences the following is determined: at the fixed values of the power indexes, step of rock breaking for frontal rolling cutter and height of ledge for tangential rolling cutter should be increased by 1.5-2.0 times with increase of natural stresses in comparison with corresponding values recommended for unstressed rocks. Rate of disk rolling cutter feeding to the stressed rocks face is limited by safe speed of driving, which is within the range of 0.5-1.5 m/hour depending on degree of the rock stress.

Keywords: mining, outburst hazard, helldiver of ring-type, frontal and tangential rolling cutter

Статья поступила в редакцию 05.02.2019

Рекомендовано к печати д-ром. техн. наук, профессором К.К. Софийским.