

УДК 622.281.

В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, И.К. Костинец, В.Ю. Бегляков

ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОРОДЕ ЗАБОЯ ОТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ УСТУПА

Один из наиболее распространенных способов разрушения породы, это резание боковой стороной цилиндрического инструмента (коронки, шнеки, барабаны). Поэтому формирование уступа с цилиндрической поверхностью взаимодействия следует рассматривать как один из вероятных способов разрушения забоя.

При разрушении уступа боковой поверхностью цилиндрического инструмента имеет место такой геометрический параметр, как относительная инструментальная высота, которая численно равна отношению толщины срезаемого слоя к диаметру боковой поверхности исполнительного органа. Чтобы оценить влияние формы поверхности взаимодействия на напряжения в породе забоя необходимо в числе других параметров оценить влияние относительной инструментальной высоты.

Для оценки влияния относительной инструментальной высоты уступа была создана модель, которая представляет собой участок сквозного уступа с цилиндрической поверхностью взаимодействия радиусом $R = 200$ мм, соответствующим диаметру боковой поверхности инструмента $D = 400$ мм (рис. 1 а). При моделировании взаимодействия исполнительного органа с породой варь-

ировалось значение безразмерного критерия – «относительная высота» $h_d = h/D$. Другие размеры модели также были выражены через диаметр боковой поверхности исполнительного органа.

Поверхности контакта моделей и прилегающие к ним участки площадок шириной 200 мм были разбиты на конечные элементы $\Delta=25$ мм, остальная модель – на элементы $\Delta=100$ мм. Между размерами элементов 25 и 100 мм постепенный переход на четырех переходных слоях (рис 1 б).

Основными задачами при проведении исследований ставились:

- исследование зависимости фоновых напряжений в породе забоя от относительной высоты уступа;

- выявление тенденций к снижению энергоёмкости разрушения забоя;

- получение теоретических предпосылок к получению рациональной формы поверхности взаимодействия;

К поверхностям контакта прикладывались радиальная (нормальная) и окружная (касательная) неравномерно распределенные нагрузки. Было принято допущение, что сила резания пропорциональна глубине резания [1]. Для определения закона распределения нагрузки по поверхности от-

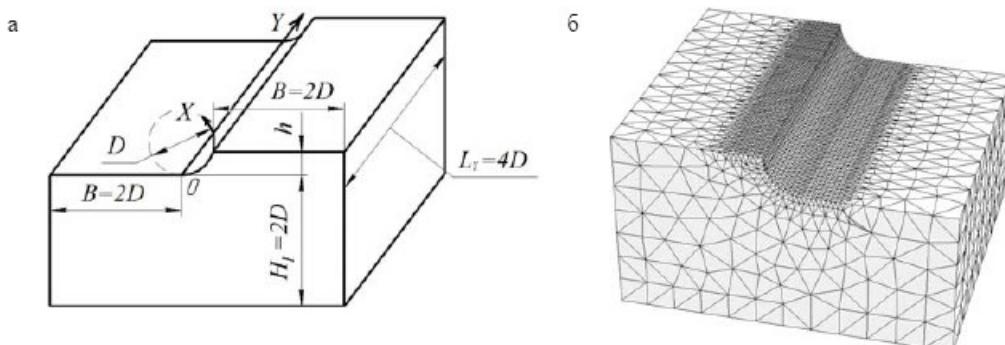


Рис. 1. Модель сквозного уступа: а) размеры и пропорции модели, б) сетка разбиения модели на конечные элементы

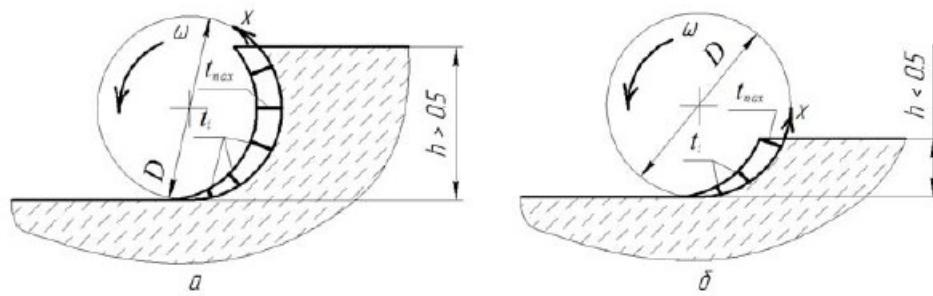


Рис. 2. Распределение глубины резания t по поверхности взаимодействия: толщина срезаемого слоя
- а) большие радиуса инструмента, б) меньшие радиуса инструмента

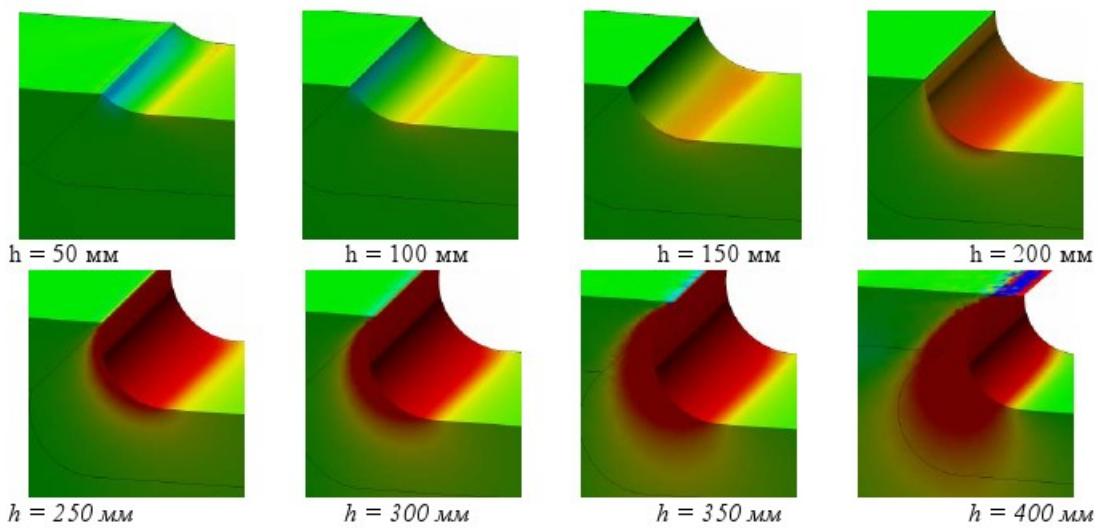


Рис. 3. Эпюры главных напряжений σ_3 в области поверхности взаимодействия при различных значениях относительной инструментальной высоты уступа

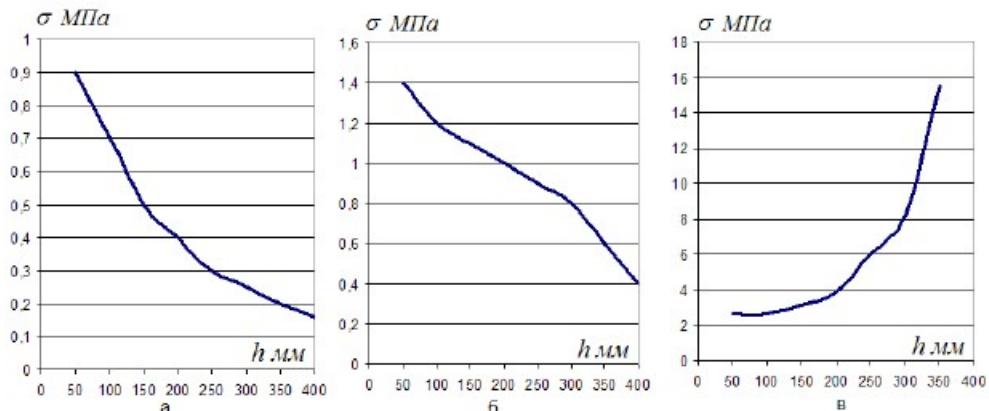


Рис. 4. Зависимость σ_1 (МПа) от относительной высоты уступа: а) в области внутренней кромки, б) в центральной части, в) в области наружной кромки

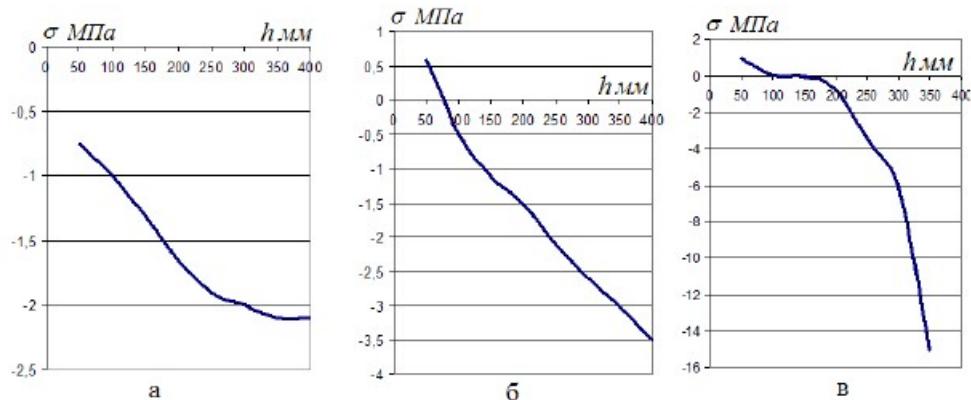


Рис. 5. Зависимость σ_3 (МПа) от относительной высоты уступа:
а) в области внутренней кромки, б) в центральной части, в) в области наружной кромки

коса ввели систему координат Oxy , ось x направлена по дуге поперечного среза поверхности взаимодействия, ось y – по внутренней кромке. Закон изменения интенсивности нагрузки определялся с учетом неравномерности глубины резания t по поверхности контакта (рис. 2).

Интенсивность распределенных нагрузок определяли из условий пропорциональности глубине

резания и равенства максимальной интенсивности для любой высоты уступа:

$$q_n = \frac{t \cdot q_{nmax}}{t_{max}} \quad \text{и} \quad q_t = \frac{t \cdot q_{tmax}}{t_{max}}, \quad (1)$$

где t – глубина резания, максимальные интенсивности нагрузок в местах максимальной глубины резания $q_{nmax} = 2.48 \text{ МПа}$ и $q_{tmax} = 0.59 \text{ МПа}$. За-

кон изменения глубины резания задавался приближенно квадратным полиномом:

$$t = ax^2 + bx + c, \quad (2)$$

где $0 < x < 1$ – круговая координата периметра, выраженная в долях от длины дуги поперечного среза поверхности взаимодействия L_x , а коэффициенты a , b , и c для каждой относительной высоты отдельно определялись аппроксимацией значений, полученных графическим построением (рис. 2).

$$x = \frac{X}{L_X}, \quad L_x = 0.5D \arccos\left(\frac{D-2H}{D}\right)$$

Суммарные нагрузки F_N и F_T определялись интегрированием распределенных нагрузок:

$$\begin{aligned} F_N &= L_X L_Y \int_0^1 q_n dx = L_X L_Y q_{nmax} \int_0^1 t dx = \\ &= L_X L_Y q_{nmax} \left(\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \right) \Big|_0^1 \\ F_N &= L_X L_Y q_{nmax} \left(\frac{a}{3} + \frac{b}{2} + c \right) \quad (4) \\ F_T &= L_X L_Y \int_0^1 q_t dx = L_X L_Y q_{tmax} \left(\frac{a}{3} + \frac{b}{2} + c \right) \end{aligned}$$

Учитывая, что произведение $L_X \cdot L_Y = S_{yctm}$ – это площадь поверхности взаимодействия, выражения (4) примут вид:

$$\begin{aligned} F_N &= S_{yctm} q_{nmax} \left(\frac{a}{3} + \frac{b}{2} + c \right) \quad (5) \\ F_T &= S_{yctm} q_{tmax} \left(\frac{a}{3} + \frac{b}{2} + c \right) \end{aligned}$$

Площади рабочих поверхностей уступов S_{yctm} определяли измерением соответствующих площадей на модели.

При моделировании определялись следующие величины и показатели:

1) минимальные значения главных напряжений σ_3 , максимальные значения главных напряже-

ний σ_1 , максимальные значения касательных напряжений τ характерные для всей поверхности откоса и для областей внутренней и внешней кромок;

2) места возникновения минимальных значений σ_3 и максимальных σ_1 , характерных для всей радиальной протяженности забоя;

3) оценивалась общая картина НДС породы забоя;

На рис. 3 показаны эпюры главных напряжений σ_3 в области поверхности взаимодействия. Из рисунка видно, что при увеличении относительной высоты уступа увеличивается распространение растягивающих напряжений в породе.

Численные результаты моделирования иллюстрируются графиками на рис. 4 - 6.

На рис. 4 видно, что напряжения σ_1 имеют положительные значения, в области внутренней кромки их модуль уменьшается с увеличением относительной высоты уступа, что объясняется общим смещением напряжений в направлении области отрицательных значений. В области внешней кромки модуль напряжений увеличивается, что можно объяснить усилением влияния концентратора напряжений в данной области.

Из графиков на рис. 5 видно, что с увеличением относительной высоты уступа напряжения σ_3 на всей поверхности взаимодействия смещаются в направлении области растягивающих напряжений. В центральной области поверхности взаимодействия и в области внешней кромки при высоте уступа $h < 100$ мм имеют положительные значения, что говорит о наличии трехосного сжатия при малой высоте уступа. С увеличением высоты уступа напряжение σ_1 на всей поверхности взаимодействия переходят в область отрицательных значений, что приводит к исчезновению областей трехосного сжатия с увеличением высоты уступа. При высоте уступа более $0.6D$ значения суммарных напряжений в области верхней кромки превышают предел прочности на растяжение, что может привести к неконтролируемому скальванию крупных кусков породы в данной области.

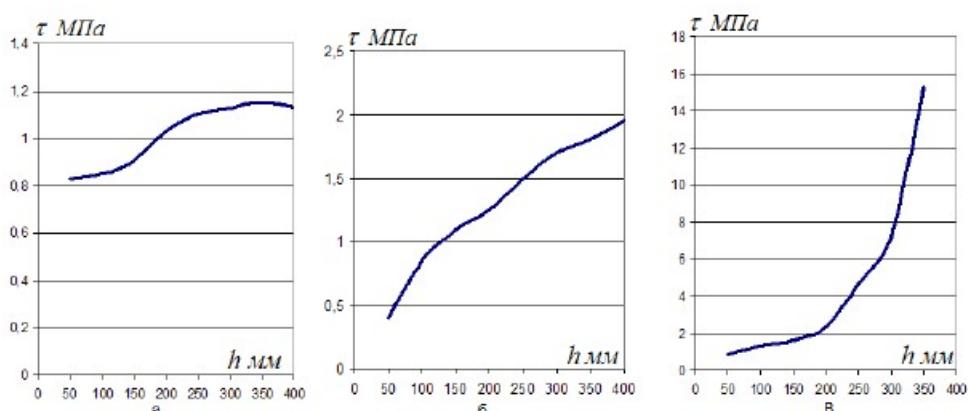
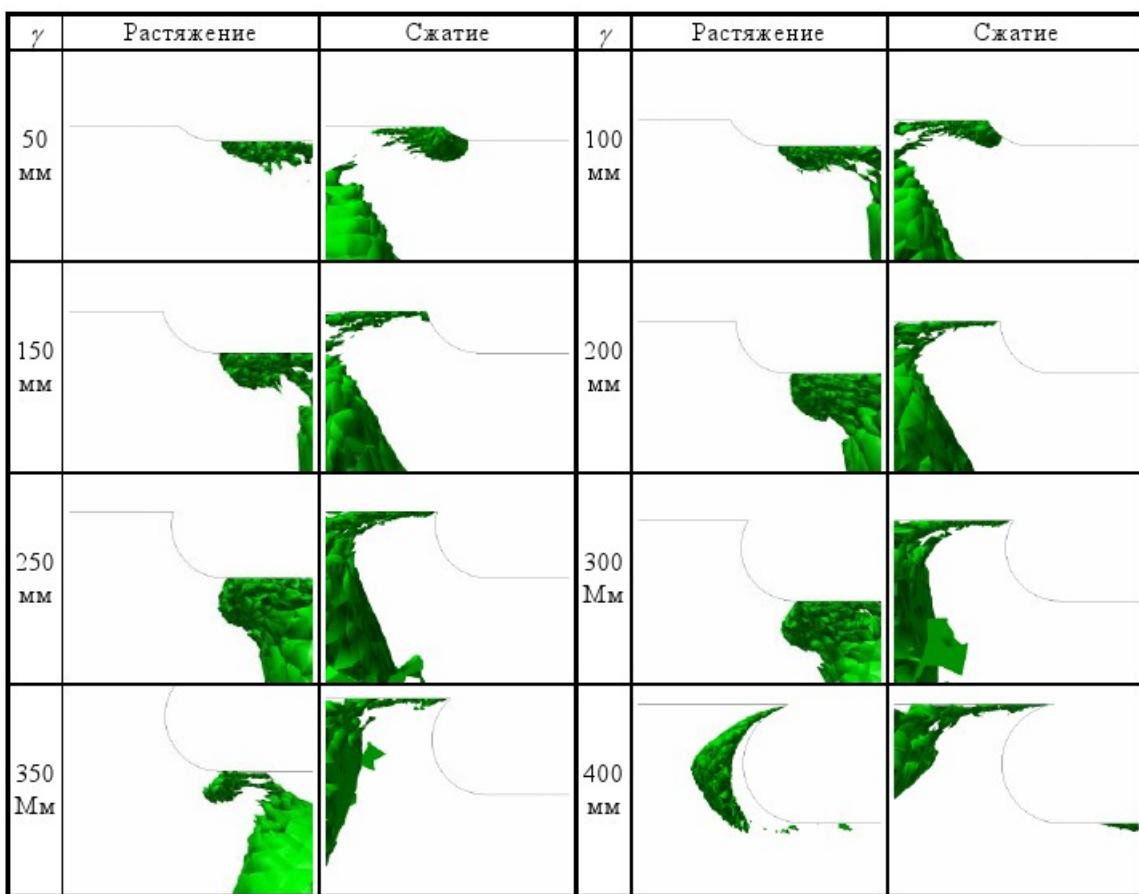


Рис. 6. Зависимость τ (МПа) от относительной высоты уступа: а) в области внутренней кромки, б) в центральной части, в) в области наружной кромки

Таблица . Размеры и расположение зон трехосного сжатия и трехосного растяжения



Из графиков на рис. 6 видно, что касательные напряжения увеличиваются с увеличением относительной высоты уступа, что приводит к ослаблению породы и улучшению условий разрушения.

В таблице показаны размеры и расположение зон трехосного сжатия и трехосного растяжения в области поверхности взаимодействия, что подтверждает выводы из графиков рис. 4 и 5. При малых высотах поверхности взаимодействия полностью находятся в области трехосного сжатия, с увеличением области трехосного сжатия уменьшаются и при $h_d > 100$ мм полностью исчезают.

Исследования НДС уступов различной высо-

ты показали, что с ростом относительной высоты:

- значения главных напряжений смещаются в направлении растягивающих напряжений на всей поверхности рабочей поверхности (табл. 2.7, 2.8);
- увеличивается значение касательных напряжений на всей рабочей поверхности.

При анализе результатов моделирования было выявлено, что условия резания улучшаются с увеличением толщины срезаемого слоя, но при этом увеличивается крутящий момент и радиальная нагрузка на валу разрушающего инструмента. Улучшение условий резания после значений высоты уступа $h > 0.6D$ становится несущественным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания. Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Расчет эксплуатационной нагруженности трансмиссии исполнительного органа. РД 12.25.137-89. – Москва: Министерство угольной промышленности СССР, 1989. – 51 с.

□ Авторы статьи:

Аксенов

Владимир Валерьевич,
докт. техн. наук, проф. ЮТИ
ТПУ, зав. лаб. угольной гео-
техники Ин-та угля СО РАН.
E-mail: v.aksenov@icc.kemsc.ru

Хорешок

Алексей Алексеевич,
докт. техн. наук, профессор.,
зав. каф. горных машин и
комплексов КузГТУ,
тел. 8(3842) 39-69-40.

Костинец

Ирина Константиновна,
директор филиала
КузГТУ (г. Белово),

Бегляков

Вячеслав Юрьевич,
старший препод. ЮТИ
ТПУ, Е-mail:
v.aksenov@icc.kemsc.ru