© А.А. Грабский, С.Н.Аракчеев, 2006

УДК 622.233.05:51.001.572

А.А. Грабский, С.Н.Аракчеев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БУРОВЫХ КОРОНОК ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Расчёт упругой системы типа ”ударник – буровая коронка – горная порода” проведем, основываясь на энергетическую теорию или теорию Герца

С использованием энергетической теории получены следующие зависимости для определения максимальной динамической силы, возникающей в различных зонах коронок. При ударе по коронке, прижатой к забою скважины, кинематическая энергия ударника $A = 0,5myvo^2$ передаётся коронке и вызывает её деформацию, энергия этой деформации может быть выражена через максимальную контактную силу следующим выражением

$$U = P^2 L(2EF)^{-1}$$

где P – динамическая сила, генерируемая в зоне контакта ударника с хвостовиком коронки; L – длина коронки; E – модуль упругости; F – площадь поперечного сечения; my – масса ударника.

В случае учёта местной податливости δ соударяемых тел в зоне контакта добавляется энергия местной деформации

$$U_м = \frac{1}{2} P^2 \delta.$$

По условию передачи энергии от ударника к коронке

$$A = U + U_м;$$

предварительно EF через $c^2 m_k L_K^{-1}$, найдём зависимость для определения максимального усилия в коронке

$$P = v_0 c \sqrt{\frac{m_u m_k}{L^2 + \delta m_k c^2}},$$

где v_0 - скорость соударения бойка с коронкой; m_k - масса коронки; с – скорость распространение деформаций вдоль коронки. Полученное выражение позволяет найти величину напряжения в коронке при известном значении А. Если принять

$$U = P^2 L(2EF)^{-1} = \sigma^2 FL(2E)^{-1},$$

а $\sigma = \sigma_B$, где σ_B - предел упругости, то можно найти предельное значение работы единичного удара молотка, которое можно приложить к коронке без появления остаточных деформаций

$$A'_{MAX} = \frac{\sigma_B^2 FL}{2E} + 0,5P^2\delta.$$

Для серийной коронки значение A'_{MAX} находится в пределах (20-35)кгс·м. В процессе бурения скважин возможен случай удара по коронке, не прижатой к забою, тогда во время удара коронка и ударник будут двигаться с одинаковой скоростью, так как время действия ударного импульса значительно больше времени, необходимого для

прохождения волной деформации удвоенной длины инструмента или ударника,

$$v_1 = \frac{m_y v_0}{m_y + m_K},$$

сохранив при этом кинематическую энергию

$$A = (m_y + m_k)0,5v_1^2 = m_y^2 v_0^2 \frac{1}{2}(m_y + m_K)^{-1},$$

При таком соударении ударника с коронкой в энергию деформации коронки превращается разность

$$\Delta A = \frac{m_y v_0^2}{2} - \frac{m_y^2 v_0^2}{2(m_y + m_K)} = \frac{m_y m_K}{m_y + m_K} \cdot \frac{v_0^2}{2}.$$

Принимая справедливый линейный закон изменения внутренних сил по длине коронки (от нуля на свободном конце до $P_{\max}$ на нагруженном), потенциальную энергию её деформации запишем в виде

$$U = P_{\max}^2 L(6EF)^{-1}.$$

Приравняв полученное значение для U, с учётом энергии местной деформации найдём зависимость для определения максимального усилия в следующем виде

$$P_{MAX} = v_0 \sqrt{\frac{m_y m_k}{(m_y + m_K)(\delta + L^2 3^{-1} m_K^{-1} c^{-2})}}.$$

В случае удара коронки о забой скважины ($m \to \infty$) получим

$$P_{ОП} = c v_0 m_K \sqrt{\frac{3}{L^2 + 3\delta_1 c^2 m_K}},$$

где δ_1 - коэффициент местной податливости в зоне контакта коронки с буримой горной породой на забое скважины.

Значение коэффициентов местной податливости для конкретного расчёта могут быть найдены экспериментально или по соотношениям

$$\delta = \frac{4}{5}(K^2 P_{MAX})^{-1/3}; \quad \delta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1 d},$$

где E_1 и μ_1 - упругие характеристики горной породы; d – эквивалентный диаметр коронки (длина контакта лезвий с забоем скважины).

С использованием теории Герца, допуская справедливость условия – жесткость забоя скважины значительно меньше жесткости коронки в зоне контакта её с буримой породой, получаем

$$P_{MAX} = K\left(\frac{5mv_0^2}{4K}\right)^{3/5};$$

$$t = 2,94\left(\frac{5m}{4K}\right)^{3/5} v_0^{-1/5},$$

где t – продолжительность соударения ударника с коронкой; m – приведённая масса, $m = \frac{m_y m_K}{m_y + m_K}$; К – коэффициент, зависящий от геометрии зон контакта ударника и коронки:

$$K = \frac{2E}{3\left(1 - \mu^2\right)} \sqrt{\frac{R_y R_K}{R_y + R_K}}$$

или

$$K = \frac{2E}{3\left(1 - \mu^2\right)} \sqrt{R},$$

где Е – модуль упругости; μ - коэффициент Пуассона; R_y и R_K - радиусы закругления торцов ударника и коронки.

С помощью теории Герца определяем силу, возникающую в буровой коронке при действии продольного ударного импульса

Далее с помощью программного комплекса Дезаин Стар 4.0 (DesingSTAR 4.0), основанный на методе конечных элементов, по закону Гука для изотроп-

ного тела производим расчет напряженного состояния буровых коронок.

Материал считается изотропным, когда его свойства не меняются с направлением. Таким образом, чтобы определить изотропные эластичные свойства, можно ввести комбинацию любых двух из последующих свойств: модуль продольной упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона. Третье свойство, не будучи заданным, изначально внутренне исчисляется программой с использованием отношения:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)},$$

где E – модуль продольной упругости; G – модуль сдвига; μ- коэффициент Пуассона.

При одновременном наличие компонентов напряжений и теплового эффекта, компоненты деформаций запишутся в следующем виде:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_X - \mu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right] + aT; \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \mu\left(\sigma_z + \sigma_x\right)\right] + aT; \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \mu\left(\sigma_x + \sigma_y\right)\right] + aT; \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}$$

Если сделать математические преобразования, то получим

$$\sigma_x = 2G\varepsilon_x + \lambda\Delta; \tau_{xy} = G\tau_{xy}$$

$$\sigma_y = 2G\varepsilon_y + \lambda\Delta; \tau_{yz} = G\tau_{yz}$$

$$\sigma_z = 2G\varepsilon_x + \lambda\Delta; \tau_{zx} = G\tau_{zx}$$

где

$$\Delta = 3\varepsilon_{cp} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z - 3aT$$

$$\lambda = \frac{2G\mu}{1-2\mu}$$

Программный комплекса Дезаин Стар 4.0 (DesingSTAR 4.0), основанный на методе конечных элементов, преобразовывает закон Гука в матричную форму и производит расчёт напряженного состояния материала $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пономарёв С.Д.* Расчёты на прочность в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1959 г.

2. *Бидерман В.Л., Малюкова Р.П.* Усилия и деформации при продольном ударе. Расчёт на прочность. – М.: Машиностроение, 1964 г.

Отформатировано: слева: 3,5 см, справа: 4 см, сверху: 4 см, снизу: 5,7 см, Начать раздел: на текущей странице, Расстояние от края до верхнего колонтитула: 0 см, Расстояние от края до нижнего колонтитула: 5,3 см

Коротко об авторах

Грабский А.А. – кандидат технических наук, доцент,
Аракчеев С.Н. – инженер,
Московский государственный горный университет.