

преобразования.

$$f_1(x) = \int_x^T f_0(t) r(x,t) dt,$$

$r(x,t)$  – функция, задающая закон перераспределения кусков по размерам при дроблении ( $t \rightarrow x$ );  $t$  – размер структурного элемента;  $T$  – максимальный размер  $t$ .

Аналитические исследования привели к дифференциальному уравнению функции  $r(x,t)$ , из которой при частных значениях коэффициентов следуют основные законы распределения кусковатости

$$\frac{dr(x,t)}{dx} = -\frac{1+p-mx^n}{x} r(x,t)$$

при  $m=1$ ,  $n=1$  получается  $F$  – распределение, при  $n=p$  – закон Розина-Рамлера. Параметры  $n$ ,  $p$  определяются условиями разрушения и свойствами породы.

Обобщая исследования, ка-

сающиеся гранулометрии не разрушенных и разрушенных геоматериалов, построен ряд тензорных характеристик структурности массива горных пород, установлены связи между отдельными тензорами. Показано, что большинство ранее введенных скалярных показателей структурности являются соответствующими компонентами тензоров. Тензоры густоты трещин, поверхностной плотности трещин, трещинной пустотности, плотности трещин и т.д. и их инварианты представляют наиболее полные характеристики структуры массива горных пород, но между ними и обычным гранулометрическим составом естественных структурных блоков и трещин, не говоря уже о гранулометрии при механическом разрушении, связей до сих пор не установлено.

Таким образом, анализ проведенных исследований показал, что моделирование кусковатости при механическом раз-

рушении горных пород проводилось традиционно, с рассмотрением размера отдельностей как статический ряд, с подбором функций распределения для удобного математического описания. Иногда этот статический ряд не рассматривался как результат реализации определенного механизма разрушения материала, обладающего определенной структурой. Отсутствуют даже простейшие эмпирические модели, позволяющие количественно оценить влияние структурных параметров на гранулометрический состав продуктов механического разрушения. Чисто теоретически решить такую задачу пока невозможно. Но, комбинируя различные методы моделирования, можно строить модели, учитывающие и механизм разрушения, и структурные параметры материала.

□ Авторы статьи:

Хорешок  
Алексей Алексеевич  
- докт. техн. наук, проф. каф. горных  
машин и комплексов

Прейс  
Елена Валерьевна  
- канд. техн. наук, доц. каф. при-  
кладной математики

Кузнецов  
Владимир Всеволодович  
- канд. техн. наук, доц. каф. горных  
машин и комплексов

УДК 622.285

В.В. Воеводин

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При проектировании силовых гидроцилиндров, кроме расчета на прочность, требуется искать критическую силу, определяющую запас упругой устойчивости.

В отраслевом стандарте [1] эта сила определяется из уравнения (1), решить которое достаточно сложно, а провести какой-либо анализ весьма трудоемкая задача. Для упрощения этого этапа расчета силовых гидроцилиндров на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ разработана методика, основанная на методе конечных элементов [2], учитывающая угол установки гидроцилиндра ( $\alpha$ ) и перекос смежных ступеней ( $\gamma$ ):

$$\frac{\sqrt{\frac{P_k}{EJ_2}}}{\operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{P_k}{EJ_2}} \cdot (l_2 - l_1)\right)} - \frac{\sqrt{\frac{P_k}{EJ_1}}}{\operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{P_k}{EJ_1}} \cdot l_1\right)} = 0 \quad (1)$$

где  $P_k$  – критическая сила, Н;

$E$  – модуль упругости материала, Па;

$J_n$  – момент инерции поперечного сечения ступени, м<sup>4</sup>;

$l_1$  – длина первого участка, расстояние от центра сферы опоры (шарнира) цилиндра до середины базы заделки, м;

$l_2$  – длина силового гидроцилиндра, расстояние между центрами сфер (шарниров) цилиндра и штока, м.

В этой методике первоначально с помощью макроса автоматически генерируется стержневая конечно-элементная модель с наложенными внешними силами и связями в соответствии с выбранной расчетной схемой (рис. 1). Исходным данными являются: длины участков гидроцилиндра, внутренний и наружный диаметр цилиндра, внутренний и наружный диаметр штока, угол ус-

тановки гидроцилиндра, длина базы заделки, зазор между поршнем и цилиндром определяемый их полями допусков и свойства материалов штока и цилиндра (модуль упругости и коэффициент Пуассона).

Расчет ведется в два этапа: предварительный расчет (определение геометрической матрицы жесткости) и непосредственное определение точек бифуркации линеаризованной задачи устойчивости (определение критической силы с помощью метода Ланцоша). По окончании расчета выводятся первая критическая сила и форма потери устойчивости.

При всей легкости данной методики возникает вопрос о выборе конечного элемента для решения поставленной задачи, т.к. метод конечных элементов позволяет решить одну и ту же задачу с использованием разных типов элементов и поэтому возникает необходимость в оценке получаемых результатов сравнением с теоретическими и между собой.

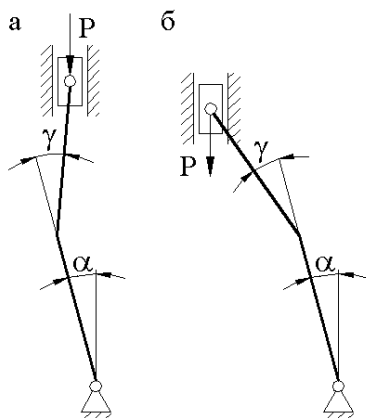


Рис. 1. Расчетные схемы: а) с отрицательным перекосом смежных ступеней; б) с положительным перекосом смежных ступеней

Для решения задач упругой устойчивости силовых гидроцилиндров в методе конечных подходов два типа конечных элементов: 1 – балка с эквивалентным прямоугольным поперечным сечением; 2 – труба. У этих элементов по шесть степеней свободы в каждом узле: перемещения вдоль осей X, Y и Z; вращение вокруг осей X, Y и Z. Отличия заключается в определении поперечного сечения и возможности учета у второго типа

плотности и давления внутри трубы. Поперечное сечение у первого типа задается с помощью площади, момента инерции и наибольшей стороны поперечного сечения (внешний диаметр для круглого сечения балок). У второго типа непосредственно заданием внешнего диаметра и толщины стенки трубы.

Для примера проведен анализ использования этих типов конечных элементов в модели. При этом не использовались дополнительные возможности второго типа элемента для большего подобия моделей. Критические силы получены для гидростойки механизированной крепи М130 первого типоразмера с разным углом установки (рис. 2), варьируемым от  $-15^\circ$  до  $15^\circ$ , а угол перекоса смежных ступеней всегда принимался положительным, этим достигалось моделирование двух расчетных схем (рис. 1).

Как видно из рис. 2, разница результатов при всех углах установки не превышает 3%. Это говорит о достаточно хорошей сходимости результатов между собой. Для оценки достоверности по-

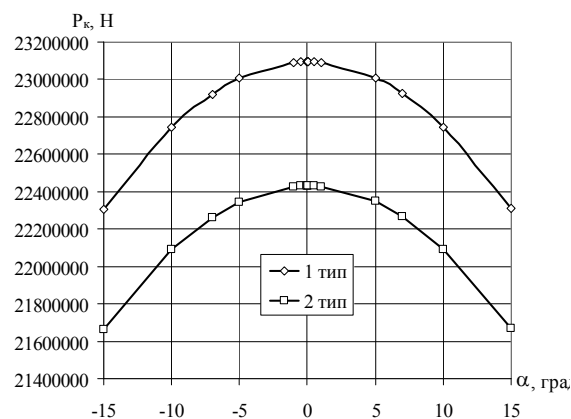


Рис. 2. Зависимость критической силы от угла установки

лученных результатов была рассчитана критическая сила с помощью отраслевой методики при нулевом угле установки и без учета перекоса смежных ступеней, т.к. нет возможности учесть эти параметры. Разница результатов с первым типом конечных элементов составила чуть более 14%, а со вторым чуть более 11%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОСТ 24.070.11 "Крепи механизированные. Стойки и домкраты. Расчет на прочность. Методика"
2. Буялич Г.Д. Расчет гидростоек на упругую устойчивость / Г.Д. Буялич, В.В. Воеводин // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды междунар. науч.-практ. конф. / Кемерово: ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского, ИУУ СО РАН, КузГТУ, ЗАО КВК "Экспо-Сибирь", 2001 – С.88–89.

□ Автор статьи:

Воеводин  
Владимир Васильевич  
– ст. преп. каф. горных  
машин и комплексов