© А.Н. Каюмова, 2006

УДК 622.83

А.Н. Каюмова

*ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА КАМНЕПАДА И ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРА**

Семинар № 12

В настоящее время требования ЕПБ [1] строго не регламентируют параметры уступов. Наряду с ЕПБ определения главных параметров бортов в современной практике конструирования бортов карьеров, как на стадии проектирования, так и ведения открытых горных работ используются расчеты углов и высот уступов, основанных на теории предельного равновесия горных пород [2]. Данные расчеты позволяют учесть большое разнообразие факторов и сформировать устойчивые уступы. Но наряду с фактором устойчивости, при конструировании борта карьера и определении параметров уступов и откосов, следует учитывать фактор камнепада. Степень влияния этого фактора, закономерности движения камней, полученные в результате данных исследований камнепада, дают основания выработать рекомендации к применению и предложить их широкому использованию на промышленных объектах.

Главные параметры откосов и уступов карьера оказывают влияние на геометрические характеристики траектории движения обломков и кусков горной породы по наклонной поверхности откоса и горизонтальной площадке бермы, поэтому изучение закономерностей камнепада позволяет использовать их для дальнейшего выбора конструктивных параметров бортов карьера.

Методика исследований включала в себя выработку геомеханической модели камнепада, а затем разработанная модель была реализована при помощи программного продукта Roxim [3], моделирующего процесс камнепада. Моделирование выполнено для различных параметров откосов уступов, характерных для месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом. Условия протекания процесса камнепада на протяжении всех исследований сохранялись неизменными, изменялись только параметры уступов: высота уступа варьировалась для нерабочих уступов от 7,5 до 45 м и для рабочих уступов 7,5 и 15 м, угол наклона откоса уступа изменялся от 45 до 85 градусов.

Значения входных параметров, используемые при компьютерном моделировании, приняты характерными для месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом.

Результаты компьютерного моделирования представлены в виде графических файлов с изображением траекторий движения камней по откосу с заданными параметрами: высотой уступа и углом наклона откоса. Полученные траектории разделены на четыре группы с различной высотой уступа, характерными для технологических процессов выемки полезного ископаемого в карьерах: 7,5 м, 15 м, 30 м, 45 м. Для определенной высоты уступа, например для h = 7,5 м, исследовались вы-

*Работа выполнена при поддержке РФФИ и Совета по грантам Президента РФ ведущих школ

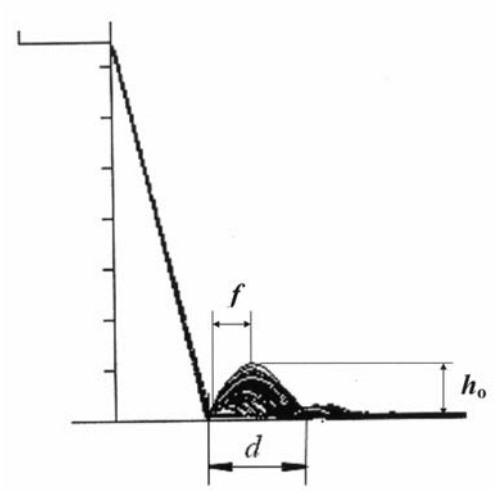

Рис. 1. Параметры первичного отскока при соударении куска породы с поверхностью горизонтальной бермы: h_o - высота первичного отскока; d – ширина первичного отскока; f – положение максимального отскока на берме от нижней границы уступа

борочно траектории движения камней при различном угле наклона откоса: 45 градусов, 60 градусов, 75 градусов и 85 градусов. Таким образом, при изменении угла наклона откоса, например на 15 градусов при сравнении траекторий для уступов с углами наклона α = 45° и α = 60°, прослеживается характер изменения основных параметров камнепада.

Наиболее значимые параметры траектории движения камней по наклонному откосу и далее по горизонтальной берме приведены на рис. 1.

Результаты исследований траекторий для уступов различной геометрии представлены в виде табл. 1-2.

На основании полученных данных, приведенных в табл. 1-2, построены зависимости параметров первичного отскока от геометрии откоса и приведены на рис. 2–5.

Анализ зависимостей максимальной высоты первичного отскока от геометрии откоса показывает, что с увеличением высоты уступа и угла наклона откоса максимальная высота первичного отскока увеличивается пропорционально этим параметрам (рис.2–3). Характер зависимости близок к линейному. Отскоки с небольшой высотой первичного отскока наблюдаются при моделировании на уступах с параметрами h = 7,5 м и α = 45°, а наибольшая высота отскока наблюдается при моделировании на уступах с параметрами h = 45 м и α = 85°. Сравнение данных, полученных для уступов высотой 7,5 м показывает, что высота первичного отскока изменяется незначительно в узком диапазоне от 0,5 м до 1,4 м. При увеличении высоты уступа от 7,5 до 45 м диапазон изменения высоты отскока существенно увеличивается и составляет от 3,5 до 9 м.

Таблица 1

Зависимость максимальной высоты первичного отскока от геометрии откоса

Высота уступа, м	**Угол наклона откоса, град**			
	45	**60**	**75**	**85**
7,5	0,5	0,65	1	1,4
15	1,2	1,7	2,2	3
30	2,2	3,8	4,4	6,2
45	3,5	5,6	7,5	9

Таблица 2

Зависимость ширины первичного отскока от геометрии откоса

Высота уступа, м	**Угол наклона откоса, град**			
	45	**60**	**75**	**85**
7,5	5	4,4	3,2	2,5
15	10	8	6	4
30	18	16	14	10
45	30	24	16	10

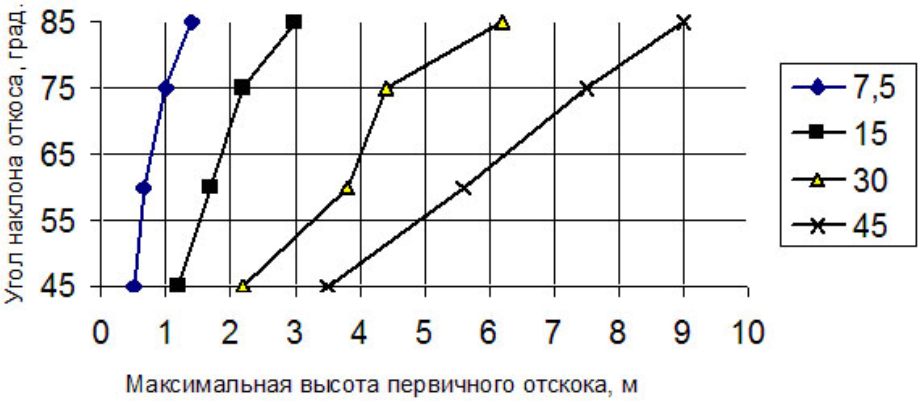

Рис. 2. Зависимость максимальной высоты отскока от высоты уступа

Увеличение высоты уступа в 2 раза также увеличивает диапазон высоты отскока, но менее значительно от 1,2 до 3 м (интервал между значениями составляет 1,8 м, что в 3 раза меньше, чем при h = 45 м). Т.к. высота первичного отскока является показателем, используемым для оценки эффективности улавливания камней предохранительными сооружениями, то это параметр играет важное значение для практики.

Как показали результаты моделирования на уступах с различной геометрией наименьшее значение ширины первичного отскока соответствует траектории движения камней по уступу с параметрами h = 7,5 м и α = 85°, а максимальная ширина первичного отскока наблюдается при моделировании на уступах с параметрами h = 45 м и α = 45°. Характер зависимости ширины первичного отскока от геометрии уступа показан на рис.4-5. Линейный характер зависимости ширины отскока от высоты уступа наблюдается для уступов с углом наклона откоса 75 градусов (рис. 4). Изменение исследуемого параметра для уступов с углом наклона откоса 45 и 60 градусов наблюдается менее интенсивно, а при 85 градусов - более интенсивнее. Пропорционально изменяется значение параметра ширины для уступов высотой 7,5 м, 15 м и

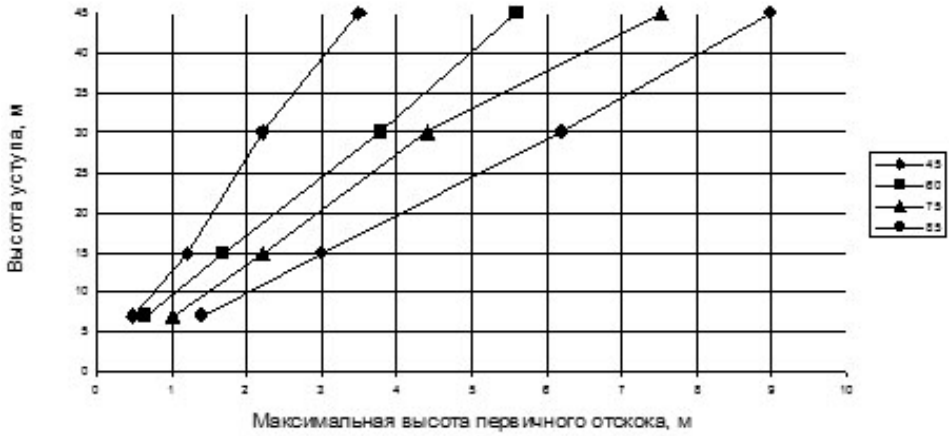

Рис. 3. Зависимость максимальной высоты первичного отскока от угла наклона уступа

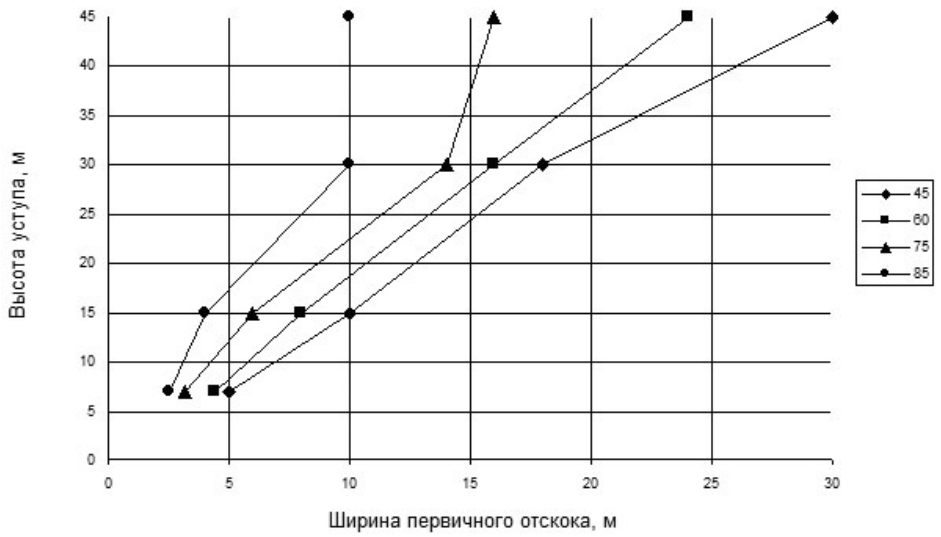

Рис. 4. Зависимость ширины первичного отскока от высоты уступа

30 м. Изменение ширины отскока при моделировании на уступах высотой 45 м наблюдается в широком диапазоне от 10 м (при α = 85°) до 30 м (при α = 45°), достигая превышения в 3 раза. Увеличение высоты уступа от 30 до 45 м не отразилось на изменении ширины первичного отскока для уступов с углом наклона откоса 45 градусов, при увеличении угла наклона откоса происходит увеличении ширины первичного отскока, причем непропорционально. Таким образом, изменение ширина первичного отскока происходит неоднозначно: с одной стороны увеличивается при увеличении высоты уступа, с другой стороны, уменьшается с увеличением угла наклона откоса.

Наряду с исследованиями характера изменения параметров первичного отскока был исследован параметр дальности распространения камнепада по рабочей площадке.

Одной из важнейших проблем обеспечения безопасности производства горных работ в карьере является защита от падения отдельных камней и кусков породы с уступа в рабочую зону. Рабочие уступы карьера, состоящие из породы любой крепости, подвергаются процессу разрушения, в результате которого от уступа отделяются крупные глыбы или мелкие куски породы. Разрушение породы происходит как вследствие искусственного воздействия (взрывы, работа экскаваторов и т.д.), так и в результате естественного выветривания, а чаще всего – в результате совместного действия. Таким образом, у основания рабочего уступа можно выделить опасную зону, на которую возможно падение отделяющихся от поверхности откоса камней и кусков породы. Требованиями ЕПБ размеры опасной зоны строго не регламентируют, тем не менее, в области опасной зоны под угрозу повреждения и гибели попадают не только рабочий персонал карьера, а также горное оборудование, которое находиться на рабочих площадках карьера. Проблема обеспечения безопасности от камнепада в рабочей зоне карьера в современной научной литературе освещена недостаточно, что не позволяет обосновать размеры опасной зоны около нижней бровки уступа. Настоящие исследования направлены на восполнение этого пробела и выработку обоснованных

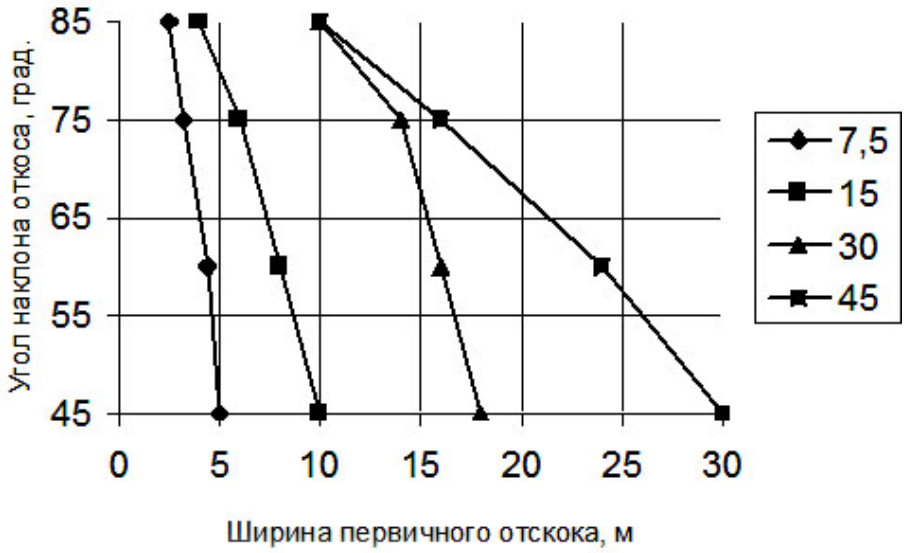

Рис. 5. Зависимость ширины первичного отскока от угла наклона уступа

рекомендаций по обеспечению безопасности горных работ в рабочей зоне карьера с учетом фактора камнепада.

Для изучения характера распространения камней и кусков породы по поверхности рабочей площадки проводилось моделирование процесса камнепада на уступах высотой 7,5 м и 15 м. В данных исследованиях предполагается, что уступы сложены из довольно крепких и прочных пород, не подверженных значительным деформациям (осыпям, сползаниям и др.)

Результаты компьютерного моделирования представлены в виде графических файлов с изображением гистограмм распределения камней на рабочей площадке после полной остановки камней. Гистограмма распределения камней – это график, показывающий частоту камней, остановившихся в ограниченном интервале на поверхности рабочей площадки. Она содержит полную информацию о распределении камней на поверхности бермы. На основании полученных данных моделирования построены графические зависимости дальности распределения камней от высоты уступа и угла наклона откоса уступа (рис. 6).

Таким образом, в соответствии с графиками зависимости дальности распределения камней по рабочей площадке от угла наклона откоса уступа, можно сделать следующие выводы:

- наименьший разлет кусков породы наблюдается при крутых углах откоса 85 градусов: при высоте уступа равной 7,5 м дальность полета камней составляет 2,8 м;
- при равных условиях исследований наибольшее расстояние пробега кусков породы по горизонтальной берме зафиксированы при наименьшем угле откоса - 35 градусов (в приведенных результатах исследований при h = 15 м дальность полета составила 61,65 м, соответственно, при h = 7,5 м составила 45, 4 м).

Полученные закономерности характеризуют движения камней по откосам и уступам, предоставляя возможность выбирать конструктивные параметры бортов карьеров с учетом фактора камнепада. Наряду с применяемыми методиками, данные исследования были успешно применены для определения параметров северо-

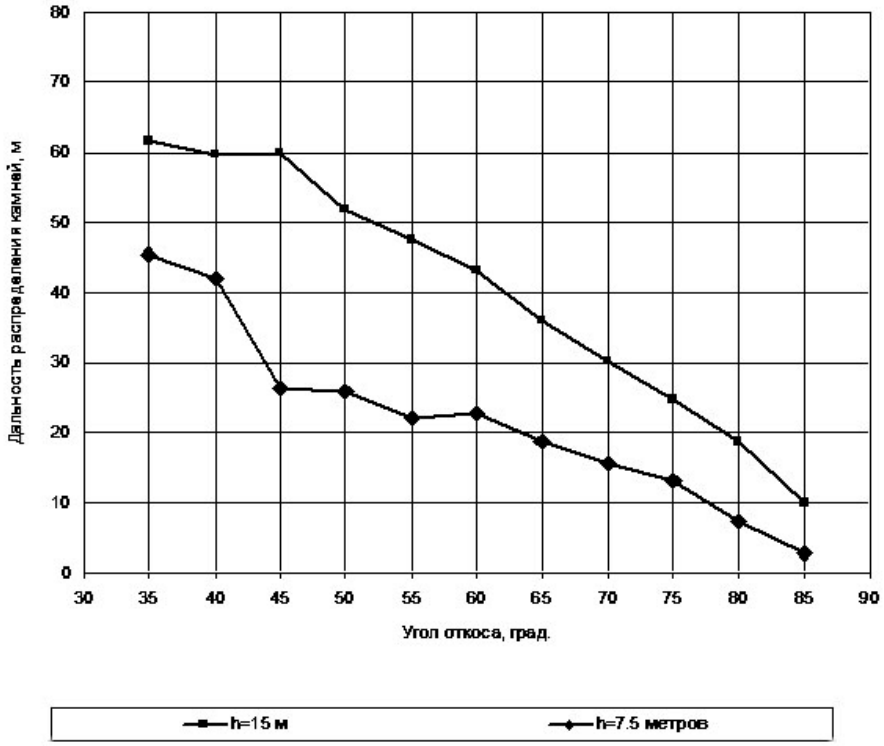

Рис. 6. Зависимость дальности распределения камнепада от угла наклона откоса

западного борта Качканарского ГОКа [4] в связи с развитием в массиве горных пород современных геодинамических движений и возможной интенсификации камнепада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Единые* правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом: Утв.21.07.92 Госгортехнадзором России. — М.: Недра, 1992. – 102 с.

2. *Методические* указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, стоящихся и эксплуатируемых карьеров (Одобрены и рекомендованы к применению Госгортехнадзором СССР). – Л.:ВНИМИ, 1972. – 165 с.

3. *Вильсон М.* Руководство пользователя ROXIM. Компьютерная программа, моделирующая обрушение пород. Дарем, Великобритания (версия 5.1 Январь 1995).

4. *Выявление* причин оползневых явлений в бортах Главного карьера и разработка рекомендаций по их стабилизации.: Отчет о НИР / ИГД УрО РАН. Рук. Сашурин А.Д. – Екатеринбург, 2003. – С.47 – 55.

Коротко об авторах

Каюмова А.Н.– младший научный сотрудник ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург.