

6
А-62

АКАДЕМИЯ НАУК УССР
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

Аспирант ЛАШКО В. Т.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ
ПРИ ОБРУШЕНИИ ВЫСОКИХ
ВСКРЫШНЫХ УСТУПОВ КРУТЫМИ
СЛОЯМИ (НА ПРИМЕРЕ
КАРЬЕРОВ УКРАИНЫ)**

(Диссертация написана на русском языке)

Специальность 05.312. Открытая разработка и эксплуатация
угольных, рудных и нерудных месторождений

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1971

19

72-4
8849

АКАДЕМИЯ НАУК УССР
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

Аспирант ЛАШКО В. Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ
ПРИ ОБРУШЕНИИ ВЫСОКИХ
ВСКРЫШНЫХ УСТУПОВ КРУТЫМИ
СЛОЯМИ (НА ПРИМЕРЕ
КАРЬЕРОВ УКРАИНЫ)

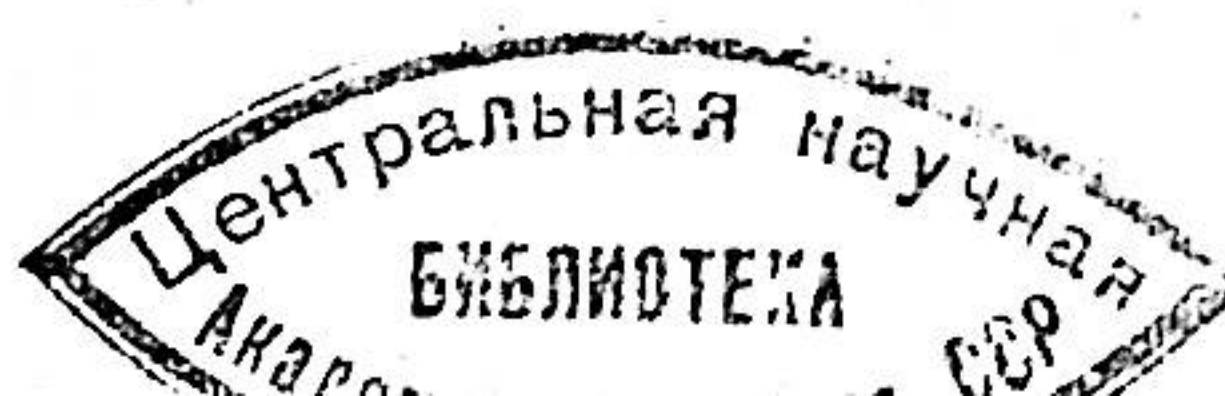
(Диссертация написана на русском языке)

Специальность 05.312. Открытая разработка и эксплуатация
угольных, рудных и нерудных месторождений

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1971



62

Работа выполнена в отделе «Непрерывных процессов открытых горных работ» Института геотехнической механики АН УССР в 1965—1971 гг. Производственные эксперименты проводились на карьерах комбината «Александрияуголь» и треста «Огнеупорнеруд» МЧМ УССР.

Научные руководители:

профессор, доктор технических наук Б. Н. ТАРТАКОВСКИЙ
ст. научн. сотр., кандидат технических наук А. Г. ШАПАРЬ.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Ю. И. БЕЛЯКОВ,
доцент, кандидат технических наук И. К. НАУМОВ.

Ведущее предприятие — трест «Огнеупорнеруд»
МЧМ УССР.

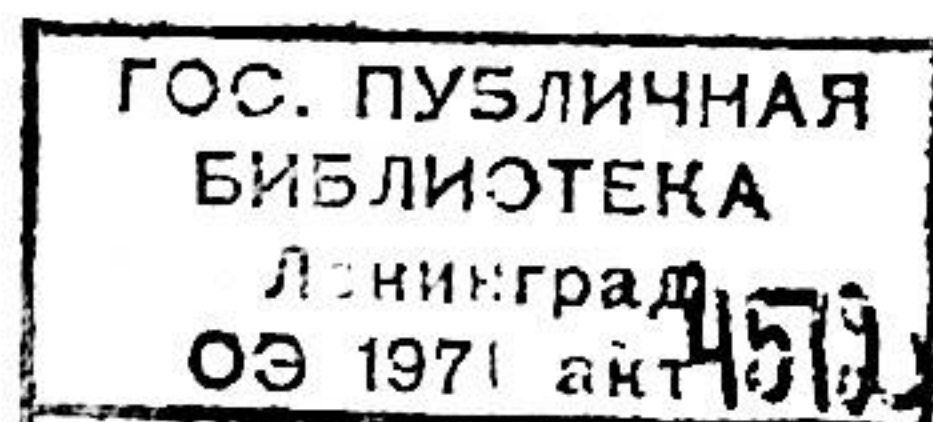
Автореферат разослан « . . . » 1971 г.

Защита диссертации состоится « . . . » 1971 г.
на заседании Ученого совета Института геотехнической механики АН УССР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв, заверенный печатью, просим направлять в двух экземплярах по адресу: г. Днепропетровск-5, ул. Симферопольская, 2-а, Институт геотехнической механики АН УССР.

Ученый секретарь Совета,
ст. науч. сотр., канд. техн. наук Э. И. ЕФРЕМОВ



Основным направлением технического прогресса в горнодобывающей промышленности является преимущественное развитие и совершенствование открытого способа добычи полезных ископаемых. В 1980 г. около 75% всего объема горных работ будет осуществляться открытым способом. Более 2 млрд. м³ горной массы будет обрабатываться на месторождениях с мягкими покрывающими породами. Применяемое в настоящее время на карьерах с мягкими вскрышными породами и запроектированное горнотранспортное оборудование является весьма металлоемким и обеспечивает эффективную обработку месторождений с мощностью покрывающих пород только до 70—80 м.

В Директивах XXIV съезда КПСС указано, что «...снижение металлоемкости продукции должно стать одним из критериев оценки научно-технического уровня производства в данной отрасли, на каждом предприятии». В связи с этим возрастает важность и актуальность обоснования новых высокоэффективных систем открытой разработки, а также изыскание новых средств механизации горных работ на карьерах.

В диссертационной работе проведено исследование принципиально нового и перспективного способа ведения вскрышных работ на месторождениях с мягкими покрывающими породами (на примере карьеров Украины) — управляемого обрушения вскрышных уступов крутыми слоями. В работе исследован процесс обрушения, обоснованы параметры способа обрушения и технологические параметры специальных обрушающе-погрузочных машин, разработаны и исследованы технологические схемы горных работ при управляемом обрушении высоких уступов крутыми слоями.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

В первой главе приведены научно-технические предпосылки технологии горных работ при обрушении уступов крутыми слоями, обзор горнотехнической литературы, актуальность темы диссертации, цель работы, задачи исследований и методы их решения.

Анализ состояния техники и технологии горных работ на действующих и проектируемых карьерах с мягкими покрывающими породами показал, что в настоящее время наблюдается тенденция к увеличению высоты отрабатываемых уступов с целью сокращения количества транспортных горизонтов. Однако с увеличением высоты уступа возрастает вес и установленная мощность электродвигателей существующих экскаваторов, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях разработки и приводит к значительному увеличению металлоемкости карьерного оборудования.

Для резкого повышения эффективности открытых горных работ необходимо использовать новые принципы разработки, применение которых позволило бы устранить жесткую зависимость между высотой отрабатываемого уступа и рабочими параметрами экскавационных машин, увеличить их производительность при одновременном снижении удельной металлоемкости разработки 1 м^3 горной массы.

Одним из новых методов разработки, отвечающих этим требованиям, является отработка уступов с использованием эффекта обрушения пород. Управляемое обрушение уступов является перспективным техническим направлением, а обоснование и исследование способов, технологии и средств механизации горных работ с использованием эффекта обрушения пород является актуальной задачей.

Исследования процесса обрушения, способов и технологии горных работ с использованием этого принципа были проведены в ИГД СО АН СССР, Ленгипрошахте, ВНИМИ, ИГД МЧМ СССР, УкрНИИпроекте и ИГТМ АН УССР. Результаты этих исследований подробно освещены в работах профессоров, докторов технических наук Г. В. Родионова, М. Г. Новожилова, Б. Н. Тартаковского, Г. Л. Фисенко, канд. техн. наук В. М. Владимирова, Э. Г. Чайковского, А. Р. Маттиса, А. Г. Шапаря, В. В. Голицина, инженеров М. Н. Демидовой, И. А. Банина, И. Н. Бережного и др.

В настоящее время принцип обрушения уступов нашел практическое применение на Михайловском разрезе комбината «Александрияуголь» МУП УССР и Положском карьере треста

«Огнеупорнеруд» МЧМ УССР, где применена бестранспортная система разработки с принудительным обрушением высоких уступов сразу на всю высоту.

Однако новый метод разработки еще не нашел широкого применения в практике открытых горных работ. Это объясняется, прежде всего, отсутствием достаточно эффективных способов обрушения, а также простых и надежных обрушающих погрузочных машин.

Анализ способов обрушения показал, что по обеспечению безопасных условий производства горных работ, возможности управления процессом обрушения и отработки уступов максимальной высоты, а также возможности быстрее внедрения в практику открытых работ наиболее перспективным, экономичным и выгодным является способ обрушения уступов крутыми слоями.

Его сущность заключается в следующем (рис. 1): специальная обрушающая машина, передвигаясь по откосу уступа с помощью тягового механизма, производит подрезку слоя определенной высоты. Подрезанный блок пород под действием собственного веса обрушается, интенсивно дробится и порода транспортируется по откосу к его основанию, где экскавируется малогабаритной погрузочной машиной.

Поскольку тяговый и обрушающий механизмы соединены между собой канатной подвеской, их параметры практически не зависят от высоты отрабатываемого уступа. Малый вес этих машин и несложность конструкции обеспечивает простоту их изготовления, монтажа и демонтажа. Незначительные объемы одновременно обрушающихся пород и принятая расстановка оборудования на откосе определяют безопасные условия его работы.

Однако, в настоящее время достаточных обоснований этого способа не проведено. За исключением работ постановочного характера (ВНИМИ) и проектной проработки (Ленгипрошахт) не предпринималась попытка исследовать этот способ.

В связи с вышеизложенным основной целью настоящей работы является обоснование основных параметров и технологии горных работ при обрушении уступов крутыми слоями. Основными задачами работы являются:

1. Разработка методики расчета основных параметров способа обрушения и технологических параметров средств механизации.

В результате решения уравнения на ЭЦВМ установлена зависимость высоты подработки от параметров уступа и физико-механических свойств горных пород.

При обрушении уступов крутыми слоями сдвигание обрушенных пород происходит по откосу уступа, что вызывает необходимость определения его рационального угла наклона.

Анализ процесса обрушения показал, что сопротивление сдвиганию обрушенных пород по откосу уступа определяется чистым трением породы по породе и трением качения. Поэтому предельный угол откоса уступа, при котором обеспечивается сдвигание по нему обрушенной породы, находится по коэффициенту трения породы по породе. При этом определяющим коэффициентом трения принят коэффициент трения покоя.

Коэффициенты трения для различных мягких вскрышных пород для основных месторождений Украины определены экспериментально с помощью трибометра непосредственно на карьерах.

Анализ полученных данных показал, что угол откоса уступа, обеспечивающий надежное сдвигание обрушенных пород, должен быть на 5—13% больше угла естественного откоса и его значение для мягких вскрышных пород основных месторождений Украины составляет 40—43°.

Другим важным параметром способа обрушения уступов крутыми слоями является глубина вруба, которая предопределяет рабочие параметры обрушающей машины, объем одновременно обрушающихся пород и характер обрушения. При отработке уступов крутыми слоями отделение вертикального блока пород происходит под действием растягивающих усилий. Следовательно, условием предельного равновесия подработанного блока пород является равенство моментов сил отрыва и сопротивления сдвиганию.

В результате решения объемной задачи получены зависимости для определения глубины вруба и шага обрушения с учетом угла наклона откоса уступа:

$$l = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_0 h}{b\gamma \cos^2 \alpha} - b \cos \alpha \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{\sigma_0 h}{b\gamma \cos^2 \alpha} - b \cos \alpha \right)^2 + \frac{\sigma_0 h}{\gamma}}, \text{ м}; \quad (3)$$

$$b = \frac{\sigma_0 h - l^2 \gamma}{2l\gamma \cos \alpha} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_0 h - l^2 \gamma}{2l\gamma \cos \alpha} \right)^2 + \frac{\sigma_0 h}{\gamma \cos^3 \alpha}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где: σ_0 — сопротивление пород отрыву, т/м²; h — высота обрушаемого вертикального слоя пород, м; l — глубина вруба, м; b — шаг обрушения, м.

Параметры l и b , установленные по выражениям (3) и (4), обеспечивают гарантированное обрушение блока пород при условии $l > l_n$ (l_n — глубина вруба, определенная из условия плоского напряженного состояния).

Анализ полученных зависимостей показывает, что для мягких горных пород основных месторождений Украины для достижения процесса обрушения, близкого к непрерывному (шаг обрушения 0,5 — 1 м), глубина подрезки слоя пород составляет 2—6 м.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований процесса и параметров обрушения уступов крутыми слоями на моделях из эквивалентных и оптически активных материалов.

Изучение влияния ослабляющих выработок на характер напряженного состояния уступа и проверка теоретических предпосылок при определении параметров способа обрушения крутыми слоями осуществлены на моделях из оптически активных материалов (эпоксимал).

Экспериментами установлено, что местом концентрации максимальных касательных напряжений в уступе является нижняя его часть — основание; степень их концентрации возрастает с увеличением глубины подработки. При этом расширяется область действия главных нормальных напряжений.

Исследования поля распределения напряжений в вертикальном уступе показали, что при подработке блока в верхней его части появляется зона растягивающих напряжений, что свидетельствует о возможности отрыва подработанной части пород уступа (выкол).

На основании поля изоклий для высокого уступа построены ожидаемые линии скольжения, которые как в ненарушенном, так и подработанном уступе являются криволинейными.

Таким образом, результаты исследования напряженного состояния уступов и характера ожидаемых поверхностей скольжения подтверждают основные предпосылки, принятые при обосновании расчетных схем по определению основных параметров способа обрушения.

Для исследования процесса и параметров обрушения, а также технологических особенностей производства горных работ применено моделирование на эквивалентных материалах

(плоские и объемные модели). Для моделирования мягких горных пород (суглинки и глины) в качестве эквивалентного материала принималась смесь песка и трансформаторного масла. Параметры уступа и слоя модели в масштабе 1:50 составляли: $H=70$ см, $h=6-12$ см. Угол откоса уступа — 45° , глубина вруба изменялась от 3 до 8 см.

При исследовании процесса обрушения на моделях использован кинометрический метод.

Анализ кинограмм процесса обрушения показал, что как при плоском так и объемном напряженном состоянии обрушение подрезанного блока происходит путем отрыва. Деформация блока породы в начальный период проявляется в виде трещин на кровле слоя с постепенным ее расширением. В дальнейшем оторвавшаяся часть опрокидывается под углом к линии фронта отработки слоя, что предопределяет длину развала в основании уступа. Как показал анализ характера сдвижения обрушенных пород этот угол определяется зависимостью

$$\varepsilon = \arctg \frac{b}{l} \cos \alpha, \text{ град.} \quad (5)$$

При падении и движении по откосу уступа порода интенсивно дробится. Обрушение породы происходит за обрушающей машиной, что исключает попадание кусков породы на нее и не нарушает работоспособности ее рабочего органа, т. е. обеспечиваются безопасные условия работы.

Исследования характера процессов обрушения и формирования развала обрушенной горной массы позволили установить возможность безопасной работы погрузочной машины при совмещении процесса обрушения и погрузки.

В процессе эксперимента проведены исследования параметров обрушения слоя. Анализ экспериментальных данных показывает, что при обрушении вертикальных уступов при плоском напряженном состоянии значение глубины вруба в пересчете на натуру (масштаб моделирования 1:50) составляет 1÷2 м. Для реальных условий при объемном напряженном состоянии эти значения глубины вруба являются минимально возможными.

Основные параметры обрушения слоя при объемном моделировании приведены в табл. 1.

Сравнение расчетных параметров с экспериментальными данными свидетельствуют о близкой их сходимости ($K_{\text{ср}} = 10 \div 20\%$).

Таблица 1

Параметры обрушения слоя пород при моделировании			
Высота обрушаемого слоя, см	Глубина вруба, см	Шаг обрушения, см	
		экспериментальный	расчетный
4	3	4,5	4,9
	4	3,70	3,8
	5	2,2	2,0
8	3	8,5	9,0
	4	7,0	7,2
	5	6,3	6,1

В четвертой главе освещены результаты экспериментальных исследований при обрушении уступов крутыми слоями в производственных условиях. Цель этих исследований заключалась в проверке результатов теоретических и лабораторных исследований, а также в разработке рекомендаций по использованию способа и средств механизации при обрушении уступов крутыми слоями. Параметры экспериментальных участков и основные результаты исследований приведены в табл. 2.

Производственный эксперимент по обрушению уступов крутыми слоями впервые проведен на «Южном» карьере Часов-Ярского комбината огнеупорных изделий треста «Огнеупорноруд» МЧМ УССР в ноябре 1967 г.

На первом этапе ставилась задача проверки работоспособности способа обрушения и барового исполнительного органа. В качестве обрушающего механизма использована врубмашина ПМГ-2.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность исследуемого способа обрушения. После подрезки слоя происходило циклическое обрушение пород и при угле откоса более 40° хорошее сдвижение обрушенных пород с интенсивным рыхлением. Работоспособность барового исполнительного органа была удовлетворительной, его залипание незначительное. Однако такой исполнительный орган может быть рекомендован для машин с небольшой производительностью, поскольку скорость резания при этом ограничена. Кроме того, для такой машины необходимо предусматривать ходовое оборудование, обеспечивающее маневры машин на откосе и подошве уступа.

Таблица 2

Характеристика экспериментальных участков
и основные результаты исследований

Параметры	Ед. изм.	К а р ь е р ы		
		Южный	Михайловский	Ново-райский
Обрушаемые породы		плотные четвертичные суглинки	четвертичные глины суглинки	четвертичные плотные глины
Высота уступа	м	17	15	16
Угол откоса	град.	35—42	42—45	42—45
Высота обрушаемого слоя	м	1,5	4,5—1	2—4
Глубина вруба	м	0,8—1,5	1,6—2,1	2—3
Шаг обрушения	м	1,5—0,7	0,5—1,0	0,7—1,2
Вес модели обрушающей машины	т	—	24	29
Потребляемая мощность двигателей	квт.	—	15	27
Достигнутая производительность по обрушенным породам	м ³ /ч	—	500	350÷2700

Учитывая результаты первого этапа производственного эксперимента, в дальнейшем исследования были продолжены на специальной самоходной экспериментальной установке со штанговым исполнительным органом, изготовленной в ИГТМ АН УССР. Эта установка состоит из двух частей: тягового и обрушающего механизмов. Обрушающий механизм представляет собой ходовое устройство трактора ДТ-54, на котором смонтирован штанговый исполнительный орган. В качестве тягового механизма использована ходовая тележка экскаватора ОМ-202, на которой установлена тяговая лебедка.

В 1968 г. эксперименты с использованием этой установки были проведены на Михайловском разрезе комбината «Александряуголь» МУП УССР.

В результате проведенного эксперимента установлено, что обрушение блока пород происходит путем отрыва по вертикальной поверхности, не нарушая при этом работоспособности штангового исполнительного органа. Надежность управления обрушающей машиной на откосе уступа обеспечивается двуканатной подвеской. При обрушении слоя происходит интенсивное рыхление пород (максимальный размер отдельных кусков не превышал 200—300 мм). Вновь образованная по-

верхность забоя по откосу уступа представляет собой вертикальную плоскость без козырьков и заколов.

Обрушение блоков породы не является опасным как для исполнительного механизма, так и обрушающей машины в целом, поскольку обрушение породы происходит за машиной. Исследования процесса обрушения, скорости перемещения обрушенных пород и ее кусковатости показали, что при совмещении операций по обрушению и погрузке не создается опасных условий для работы погрузочной машины.

Производительность экспериментальной установки достигала 500 м³/ч. Однако, достигнутая производительность может быть существенно повышена путем увеличения вылета штанги (до 4÷5 м), рабочей скорости перемещения (до 4÷6 м/мин) и высоты слоя (6÷8 м).

В дальнейшем с целью проверки технологических возможностей обрушающей машины и обоснования технологических требований на ее проектирование были проведены дополнительные исследования.

Конструкция изготовленной в ИГТМ АН УССР экспериментальной установки была близкой по своим параметрам к полноразмерной машине.

В отличие от предыдущих исследований обрушающий механизм был снабжен сменными исполнительными органами: траншейной (для врезки в новую заходку) и обрушающей штанговой фрезой. Тяговый механизм снабжен въездной площадкой, на которую при отработке верхней части уступа въезжает обрушающий механизм.

Экспериментальные исследования проведены на Ново-Райском карьере Дружковского рудоуправления треста «Огнеупорнеруд» МЧМ УССР в 1970—1971 гг. при различных климатических условиях (рис. 2).

Исследования работоспособности траншейной фрезы показали, что с ее помощью пионерную траншею можно выполнить за 5—7 часов. Учитывая, что необходимость выполнения этой траншеи возникает только в торцах карьера, производительность траншейной фрезы вполне удовлетворительна.

Экспериментами подтверждена и работоспособность машины со штанговым исполнительным органом. Работа штанги была устойчивой, заштыбовка не наблюдалась. Обрушение блоков не создавало опасных нагрузок на рабочий орган и не препятствовало нормальной его работе. При рабочей скорости подачи 1,2—4 м/мин машина работала удовлетворительно.



Рис. 2. Обрушение уступа экспериментальной установкой.

что при высоте слоя 3—6 м обеспечивает производительность по обрушенной массе $350 \div 2700 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Экспериментальными исследованиями установлено, что параметры и характер обрушения слоя хорошо согласуется с результатами проведенных ранее исследований. Обрушенная масса при углах откоса свыше 40° полностью транспортировалась к основанию уступа под действием сил собственного веса. При этом угол обрушения составлял 10° , средняя скорость движения обрушенных пород при угле откоса 45° составляла около 1 м/сек, развал обрушенных пород — 4 м, максимальный размер куска 300 мм.

В процессе эксперимента отгрузка обрушенной массы осуществлялась экскаватором ЭКГ-4,6 при искусственно ограниченной высоте черпания до 1,5 м. Анализ условий его работы при отгрузке обрушенной массы свидетельствует о возможности применения для этих целей как малогабаритной погрузочной машины, так и специального погрузочного устройства.

Экспериментальными исследованиями установлена возможность практического применения способа обрушения, полная управляемость процессом обрушения и обеспечение безопасных условий работы обрушающе-погрузочных машин. Создание обрушающе-погрузочных машин, в качестве прототипа которых может быть использована экспериментальная установка, не представляет затруднений. Все это свидетельствует о возможности быстрого внедрения в практику открытых горных работ этого перспективного метода разработки.

Пятая глава посвящена исследованию основных технологических параметров и систем разработки при обрушении уступов крутыми слоями.

Способ обрушения уступов крутыми слоями может быть использован как при применении транспортно-отвальной, так и транспортной системы разработки.

В зависимости от типа погрузочной машины и ее назначения отработку уступов крутыми слоями возможно осуществлять:

- а) одной погрузочной машиной, которая осуществляет погрузку обрушенной массы и подработку основания уступа;
- б) двумя машинами, одна из которых производит только погрузку, другая подработку основания уступа.

Объем обрушенной породы (V_3) одной заходки и ширина развала (a_p) породы в основании уступа определяются зависимостями:

$$V_3 = \frac{hl}{\sin\alpha} \left(H - \frac{1}{2} \frac{h}{\cos\alpha} \right), \text{ м}^3; \quad (6)$$

$$a_p = \sqrt{\frac{12 v_3 k_0}{\sin\alpha \operatorname{ctg}^2\alpha \left(\frac{\pi}{90} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\sqrt{\operatorname{ctg}^2\beta - \operatorname{ctg}^2\alpha}}{\operatorname{ctg}\alpha} - \sin 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\sqrt{\operatorname{ctg}^2\beta - \operatorname{ctg}^2\alpha}}{\operatorname{ctg}\alpha} \right)}}} \text{ м}, \quad (7)$$

где: H — высота уступа, м; β — угол естественного откоса горных пород, град.

В работе исследована взаимосвязь технологических параметров способа обрушения и основных конструктивных параметров обрушающе-погрузочных машин при различных схемах отработки уступа.

Техническая производительность комплекса обрушающе-погрузочных машин определяется зависимостью

$$Q_T = \frac{60 H h l}{\frac{H}{v_p} + \frac{H}{v_x} + t_b \sin\alpha}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (8)$$

где: v_p — рабочая скорость перемещения обрушающей машины, м/мин;

v_x — скорость холостого спуска машины к подошве уступа, м/мин;

t_b — время, затрачиваемое на вспомогательные операции при обрушении одной заходки.

Исследованиями установлено, что при высоте уступа 20÷40 м, длина консоли рабочего органа обрушающей машины 3÷5 м, высоте обрушаемого слоя 4÷8 м и рабочей скорости перемещения обрушающей машины 1÷6 м/мин производительность машин по обрушенным породам составляет 500÷5000 м³/ч.

В работе установлены рациональные параметры обрушающих и погрузочных машин.

Основным параметром обрушающего механизма, определяющим производительность по обрушенной массе, вес и установленную мощность двигателей, является вылет штанги рабочего органа.

Исследованиями установлено, что с увеличением длины штанги приведенные затраты на обрушение пород уменьшаются. Учитывая результаты производственных экспериментов

и предварительные конструктивные проработки, длина консоли рабочего органа должна приниматься в пределах 3÷5 м. Получены зависимости для определения веса обрушающего (G_0) и тягового (G_T) механизмов:

$$G_0 = \frac{\frac{1}{2} k_0 R l}{\frac{1}{2} m (\sin\alpha + f \cos\alpha) + \mu \frac{n \cos\alpha}{4} + 0,29k \frac{n}{2mp_0}}, \text{ т}, \quad (9)$$

$$G_T = \frac{k_T [G_0 (\sin\alpha + f \cos\alpha) + R] d}{N}, \text{ т}, \quad (10)$$

где: k_0 , k_T — коэффициенты устойчивости соответственно для обрушающего и тягового механизмов; n и m — соответственно длина и ширина гусеницы хода обрушающего механизма, м; N — расстояние между центром тяжести и ребром опрокидывания тягового органа, м; d — расстояние по нормали между канатом и ребром опрокидывания тягового органа, м; R — внешние силы, приложенные к зубкам штангового исполнительного органа, т; μ — коэффициент трения звена о грунт; k — коэффициент сцепления грунта.

При длине штанги 3—5 м общий вес обрушающего комплекса машин составляет 27÷65 т, установленная мощность двигателей — 55—100 квт.

Основным фактором, влияющим на рабочие параметры погрузочной машины типа роторного экскаватора с малыми линейными параметрами, является высота подработки уступа, которая предопределяет высоту черпания экскаватора. Исследованиями установлено, что как с экономической, так и с технологической точки зрения при обрушении уступов крутыми слоями необходимо стремиться к отработке слоя максимальной высоты. Предельным ее значением является величина H_{90} , которая для мягких горных пород основных месторождений Украины достигает 10—12 м.

При такой высоте черпания и теоретической производительности 1—5 тыс. м³ вес роторного экскаватора, определенный по методике института УкрНИИпроект, составляет 150—700 т.

Анализ удельных приведенных затрат на экскавацию показывает, что при обрушении уступов крутыми слоями удельные приведенные затраты в 3—4 раза меньше по сравнению

с существующей технологией и в 1,5—3 раза по сравнению с управляемым обрушением высоких уступов другими средствами.

При разработке месторождений крутыми слоями особое значение приобретает вопрос отработки слоя не только по фронту работ, но и в торце карьера. Анализ схем отработки торца карьера показал, что наиболее рациональной является схема с плоским торцом карьера, что значительно упрощает организацию работ.

Угол разворота веера и объем вскрыши при отработке торца карьера по этой схеме определяются выражениями:

$$\psi = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{h}{H \sin \alpha \operatorname{ctg} \alpha_0}, \text{ град}; \quad (11)$$

$$V_{\tau} = \frac{1}{2} \frac{h H^2}{\sin \alpha} \operatorname{ctg} \alpha_0, \text{ м}^3, \quad (12)$$

где: α_0 — угол откоса нерабочего борта карьера.

Разработаны технологические схемы горных работ при обрушении уступов крутыми слоями, которые можно осуществлять при использовании существующего транспортного и отвального оборудования. В этих схемах предельная высота отрабатываемого уступа лимитируется параметрами отвалообразующих машин и, в зависимости от горно-технических условий, составляет для основного уступа (транспортно-отвальная система разработки) 37÷45 м, для передового уступа (транспортная система) — 35÷44 м.

В работе проведено технико-экономическое сравнение комбинированных систем разработки при обрушении уступов крутыми слоями. Установлено, что использование принципа управляемого обрушения уступов крутыми слоями позволяет в 1,5—2 раза снизить удельные приведенные затраты на разработку 1 м³ вскрыши по сравнению с существующей технологией при применении техники непрерывного действия и другими способами обрушения высоких уступов.

Исследования эффективности технологии горных работ при управляемом обрушении уступов крутыми слоями в конкретных горно-технических условиях некоторых карьеров Днепровского и Канско-Ачинского бурогоугольных бассейнов и карьеров по добыче огнеупорного сырья Украины показали, что при ее применении стоимость разработки 1 м³ вскрыши ниже

в 1,3—1,9 раза по сравнению с проектными вариантами. При этом годовой экономический эффект составляет от 1,4 до 4,3 млн. руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Одним из перспективных направлений развития открытого способа разработки является управляемое обрушение уступов, использование которого предусматривает применение малогабаритных высокопроизводительных машин для отработки высоких уступов, что позволяет резко повысить эффективность открытых горных работ. По степени использования сил собственного веса, надежности управления процессом обрушения и обеспечению безопасных условий производства горных работ наиболее перспективным является способ обрушения уступов крутыми слоями.

2. Исследованиями установлено, что основными параметрами при обрушении уступов крутыми слоями являются: высота подработки уступа, глубина вруба, шаг обрушения и угол откоса уступа, обеспечивающий сдвигение обрушенных пород под действием сил собственного веса. Для определения этих параметров разработаны и апробированы методики. Расчет параметров обрушения рекомендуется производить по зависимостям (3,4).

3. Для исследования процесса и параметров обрушения уступов, а также проверки результатов аналитических исследований использован комплекс методов моделирования. На плоских и объемных моделях из эквивалентных материалов установлены основные закономерности процесса обрушения уступов крутыми слоями. Обрушение вертикальных уступов происходит путем отрыва блока пород по вертикальной поверхности; обрушенная порода при падении и перемещении по откосу интенсивно рыхлится, вновь образованный боковой откос слоя после обрушения представляет вертикальную плоскость без нависающих козырьков и заколов.

Экспериментальными исследованиями подтверждены разработанные в диссертации методики для определения параметров обрушения и апробированы рекомендации по условиям работы обрушающе-погрузочных машин.

4. Основные теоретические положения и результаты лабораторных исследований проверены в производственных усло-

виях на ряде карьеров Украины (Южный, Ново-Райский, Михайловский). Исследован характер процесса обрушения при высоте уступа 15—17 м и высоте слоя 1—5 м, технологические параметры способа разработки и подтверждена возможность совмещение технологических операций по обрушению и погрузке пород. Установлено, что исполнительные органы обрушающей машины (траншейная и обрушающая штанговые фрезы) являются работоспособными и отвечают всем требованиям, предъявляемым к обрушающим машинам. В процессе эксперимента производительность экспериментальной установки достигала 500—2700 м³/ч при общем ее весе 29 т.

Результаты экспериментов подтвердили полную управляемость процесса обрушения и безопасность условий работы обрушающе-погрузочных машин.

5. На основании исследований взаимосвязи параметров обрушения с параметрами отрабатываемого уступа разработана методика по определению высоты слоя, объема и ширины развала обрушенных пород. Обоснована взаимосвязь технологических параметров способа и средств разработки, позволяющая определить рациональные параметры обрушающе-погрузочных машин (рациональная длина рабочего органа обрушающей машины составила 3—5 м, высота черпания погрузочной машины — 10—12 м). Установлено, что использование принципа обрушения пород позволит резко снизить металлоемкость выемочно-погрузочного оборудования. Так, вес комплекса обрушающе-погрузочных машин производительностью 1000—3000 м³/ч в 2—6 раз меньше веса роторных машин аналогичной производительности.

6. Обоснованы и установлены технологические пределы применения схем отработки месторождений крутыми слоями. Сравнительный технико-экономический анализ систем разработки по приведенным затратам показал, что при обрушении уступов крутыми слоями стоимость экскавации 1 м³ вскрыши в 2—4 раза ниже, а общая стоимость разработки 1 м³ вскрыши в 1,5—2 раза ниже по сравнению с применением существующей техники непрерывного действия и с другими способами обрушения высоких уступов.

7. Область применения рассмотренной технологии ограничивается горногеологическими условиями. Обрушение пород крутыми слоями эффективно производить в случае отсутствия во вскрышной толще пропластков пород высокой прочности (свыше IV категории) и слабых контактов при ладении их

в сторону выработанного пространства. Максимальная высота уступа при обрушении крутыми слоями предопределяется устойчивым углом откоса, обеспечивающим хорошее сдвигание обрушенной массы (40—45°).

8. Разработаны технологические схемы с применением обрушающе-погрузочных машин и произведена их технико-экономическая оценка для конкретных горногеологических условий. Так, для конкретных карьеров Днепровского и Канско-Ачинского бурогоугольных бассейнов и карьеров по добыче огнеупорного сырья Украины применение рекомендуемой технологии с использованием обрушающе-погрузочной машины по сравнению с проектными вариантами обеспечивает снижение стоимости разработки 1 м³ вскрыши в 1,3—1,9 раза, при этом годовой экономический эффект составляет от 1,4 до 4,3 млн. руб.

9. Результаты выполненных исследований по обоснованию параметров системы разработки и эффективности применения обрушающе-погрузочных машин использованы институтом Ленгипрошахт в проекте разработки Березовского месторождения Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна.

Научным результатом работы является создание методик расчета основных параметров способа обрушения уступов крутыми слоями и технологических параметров обрушающих машин, которые могут быть использованы при проектировании новой технологии и создании обрушающе-погрузочных машин.

Практическим результатом работы является: экспериментальная проверка работоспособности способа обрушения уступов крутыми слоями и параметров обрушающих машин в производственных условиях, разработка эффективных технологических схем производства горных работ и рекомендации по их применению для условий некоторых месторождений Украины, а также использование результатов исследования при проектировании Березовского карьера.

Основные результаты работы используются в настоящее время при проведении опытно-промышленной проверки средств и способов обрушения с целью разработки технико-экономических требований на проектирование обрушающих и погрузочных машин, выполняемой по заданию МЧМ УССР

* * *

Диссертационная работа и отдельные ее разделы докладывались на Всесоюзном совещании по исследованию и внедрению управляемого обрушения уступов на карьерах, на ежегодных научно-технических конференциях ДГИ и ИГТМ АН УССР, на семинарах отдела «Непрерывных процессов открытых горных работ» ИГТМ АН УССР, в тресте «Огнеупор-неруд» МЧМ УССР и др.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Исследование обрушения уступов на моделях из эквивалентных материалов. Глава в книге «Основы управляемого обрушения уступов на открытых разработках». Издательство «Наукова думка», Киев, 1967 (соавторы М. Г. Новожилов, Б. Н. Тартаковский, В. Д. Кирилюк, А. Г. Шапарь).
2. Исследование напряженного состояния уступов на моделях из оптически активных материалов. Глава в книге «Основы управляемого обрушения уступов на открытых разработках». Издательство «Наукова думка», Киев, 1967 (соавторы М. Г. Новожилов, Б. Н. Тартаковский, В. Д. Кирилюк, А. Г. Шапарь).
3. Технология и механизация горных работ при управляемом обрушении уступов. Глава в книге «Основы управляемого обрушения уступов на открытых разработках». Издательство «Наукова думка», Киев, 1967 (соавторы М. Г. Новожилов, Б. Н. Тартаковский, В. Д. Кирилюк, А. Г. Шапарь).
4. Исследование основных технологических параметров систем разработки с обрушением уступов крутыми слоями. В сборнике «Материалы совещания по исследованию и внедрению управляемого обрушения уступов на карьерах». Издательство «Промінь», Днепропетровск, 1968 (соавторы Б. Н. Тартаковский, В. П. Самодрин).
5. К обоснованию параметров обрушения уступов крутыми слоями. В сборнике «Совершенствование техники и технологии открытой разработки месторождений», вып. 2. Издательство «Недра», М., 1969 (соавторы Б. Н. Тартаковский, А. Г. Шапарь, В. П. Самодрин).
6. Технологические схемы разработки месторождений при обрушении уступов крутыми слоями. Реферативная информация ИГТМ АН УССР. Издательство «Наукова думка». Киев, 1970 (соавторы Б. Н. Тартаковский и др.).
7. Результаты исследований способа и средств управляемого обрушения уступов при их отработке крутыми слоями. ЦНИИТЭИугля, Сборник «Добыча угля открытым способом», № 5, 1970 (соавторы Б. Н. Тартаковский, А. Г. Шапарь, Ю. Ф. Захаров).
8. Исследование основных параметров машин управляемого обрушения. Реферативная информация ДГИ, вып. 4, 1970 (соавторы В. И. Стефанович и др.).

БТ 10966. Подписано к печати 18.X.1971 г. Бумага 60x84¹/₁₆ 1,5 п. л.
Зак. № 8582. Тираж 250 экз. Типография издательства «Зоря»,
г. Днепропетровск, Ленинградская, 56.