

УДК 553.411.3:621.878.6

В.Б. Добрецов, Д.С. Опрышко

**КАНАТНО-СКРЕПЕРНАЯ РАЗРАБОТКА
МАЛЫХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ
И ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ РОССЫПЕЙ**

Семинар № 16

В нашей статье мы коснемся возможности использования скреперной и, в частности, канатно-скреперной разработки обводненных малых россыпей на материке, прибрежно-морских и пляжевых залежей россыпных материалов. При этом основными полезными компонентами россыпей могут быть золото, касситерит, ряд тяжелых минералов, алмазы и др..

Малые россыпные месторождения (которые нерентабельно разрабатывать стандартными техническими средствами и относящиеся в основном к забалансовым и прогнозным ресурсам) располагающиеся на материке, а также пляжевые и прибрежно-морские шельфовые россыпи, (довольно маломощные и зачастую непогребенные), помимо всего прочего находятся в удаленных и малодоступных районах при отсутствии инфраструктуры и энергоснабжения и поэтому возможны для разработки именно такими сравнительно простыми техническими средствами, к которым относятся канатно-скреперные установки.

Достаточно широкое распространение канатно-скреперные установки получили для проходки подводных траншей, что отмечается Э.Г. Годесом и Р.М. Нарбутом [1] (рис. 1).

Часовая производительность скреперной установки в таких условиях определяется по выражению:

$$Q = \frac{2100 \cdot V \cdot K_n}{K_p \cdot T}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где V - объем ковша, м^3 ; T - средневзвешенное время полного цикла, с; K_n - коэффициент наполнения ковша (1,1 для супесей и суглинков); K_p - коэффициент разрыхления грунта, зависящий от грансостава и принимаемый равным 1,1-1,5.

Для конструкций скреперных ковшей, применяемых при проходке подводных траншей (ковши открытого типа) скорость движения ковша не должна превышать неразмывающих скоростей, принимаемых для конкретного типа разрабатываемых пород. Авторами работы [1] разработан достаточно своеобразный метод примерного расчета мощности двигателей, используемых для разработки подводных траншей с использованием канатно-скреперных установок. При этом, естественно, учитывается характеристика разрабатываемых пород. Так при разработке песков и илов считается необходимой мощность 736 Вт на 7 кг массы ковша. Вполне возможно, что удобнее определять необходимую мощность на 1 кг массы ковша, т.е., исходя из приведенного примера - 105 Вт на 1 кг массы ковша при разработке песков и илов. Для предварительно разрушен-

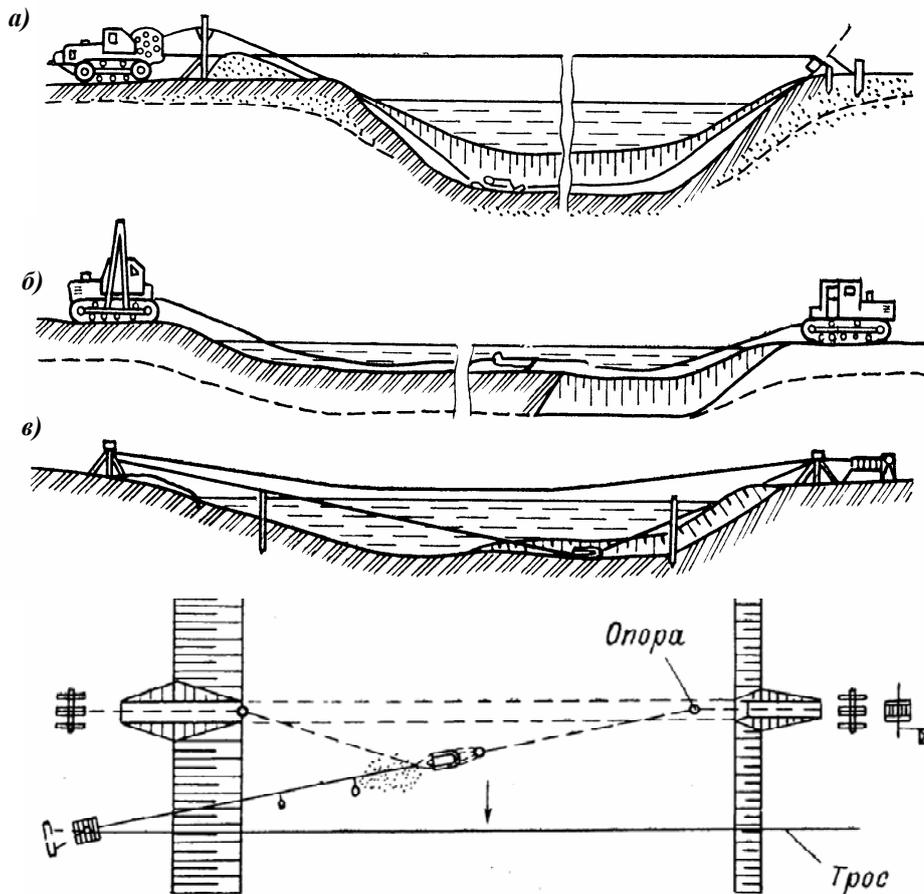


Рис. 1. Схема разработки подводных траншей канатно-скреперными установками [1]: а – с расположением лебедок на одном или обоих берегах; б – с помощью двух тракторных лебедок; в – с помощью стационарной лебедки, установленной на берегу

ных плотных и скальных пород - 184 Вт на 1 кг массы ковша.

При расчете тяговых канатов скрепера используется формула:

$$T_p = T \cdot n,$$

где T_p - разрывное усилие; T - максимальное тяговое усилие; n - коэффициент запаса (принимается в пределах 6-8)

Дополнительно канат испытывают с учетом его наматывания на барабан лебедки на напряжения σ_{\max} , величины которых проверяют по формуле

$$\sigma_{\max} = 1,27 \cdot \frac{T}{S} + 800000 \frac{d}{2 \cdot D},$$

где d - диаметр каната; D - диаметр барабана или блока; S - площадь поперечного сечения каната; T - тяговое усилие, действующее на канат.

Обычно скреперная установка, используемая для проведения подводных траншей, состоит из: двухбарабанной лебедки, приводной силовой установки, скреперного ковша, канатов и блоков, скреперной эстакады (рис. 2) и двух опор – хвостовой и головной.

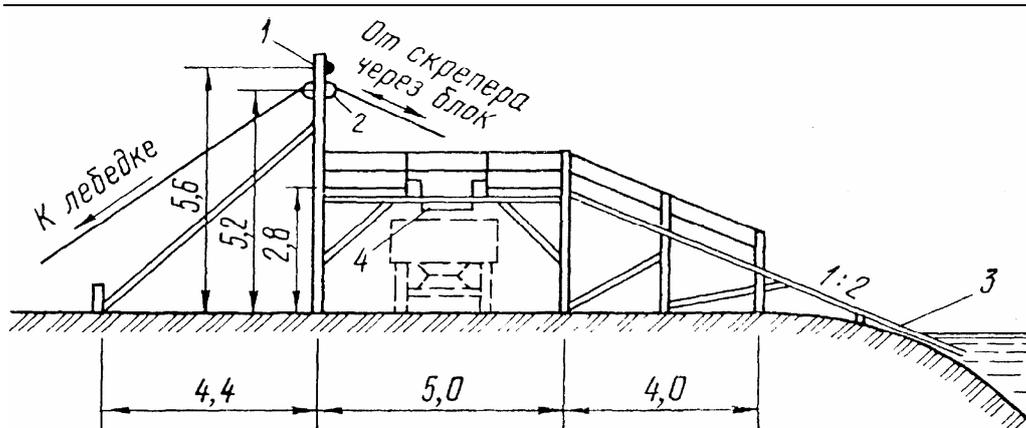


Рис. 2. Скреперная эстакада: 1 – головная опора; 2 – блок; 3 – рельсы; 4 – бункер.

Подобными скреперными установками проходятся траншеи участками длиной до 300 м, шириной (по дну) от 0,7 до 1,8 м, глубиной до 2,5 м.

Опыт показал, что наибольший эффект достигается при использовании лебедок грузоподъемностью 1,25-2,5 т. Они обладают хорошей маневренностью, сравнительно малыми размерами и легко транспортируются на автомашинах. В качестве силовых установок канатно-скреперные установки имеют либо электродвигатели, либо двигатели внутреннего сгорания. Конструктивные размеры скреперных ковшей приведены в табл. 1 (рис. 3).

В развитие основных положений ав-

торов работы [1] на основании данных табл. 1 нами определена зависимость емкости ковша от его массы (рис. 4). Полученное уравнение линии тренда позволяет с высокой степенью достоверности определять вместимость ковша скреперной установки на основании эффективной конструктивной массы.

$$y = 0,0021x, \text{ м}^3$$

где y – вместимость ковша скреперной установки, м^3 ; x – масса ковша, кг.

Кроме этого получены зависимости габаритов скреперного ковша от его массы (рис. 5 а, б). Остальные габаритные характеристики получены аналогичным образом – на основании уравнений проводимых линий тренда.

Таблица 1

Конструктивные размеры стандартных скреперных ковшей

Вместимость ковша, м^3	Масса, кг	Габарит, мм					
		A	B	C	D	E	F
0,75	300	1342	1585	650	1270	1200	570
1	490	1472	1730	720	1400	1400	540
1,25	520	1572	1855	780	1500	1570	450
1,5	910	1680	1950	840	1600	1620	840
1,75	930	1780	1880	875	1700	1845	850
2	940	1992	2210	920	1800	1800	950
2,5	1180	2008	2335	990	1900	1850	1100
3	1320	2108	2455	1035	2000	1720	870
3,5	1500	2208	2495	1120	2100	1840	1150

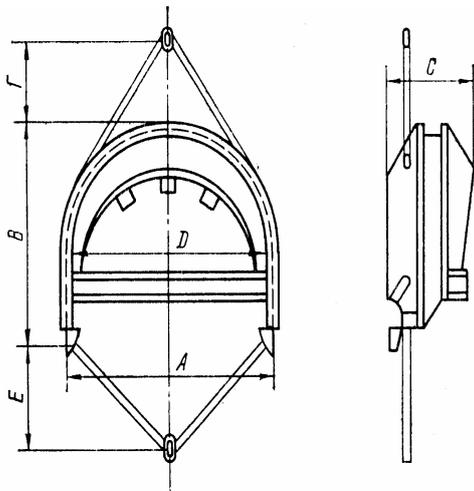


Рис. 3. Скреперный ковш: А — ширина ковша понизу; В — длина ковша; С — высота; Д — ширина ковша поверху; Е — расстояние до скобы тягового каната; Г — расстояние до скобы холостого каната

Очевидно, что приведенные массогабаритные характеристики будут соответствовать форме ковша представленной на рис. 3. Расчетные данные для кузова ковша нашей конструкции представлены в табл. 2.

Достаточно детальное рассмотрение техники и технологии канатно-скреперной разработки подводных неуплотненных месторождений (песчано-гравийные залежи) и экспериментальная проверка в производственных условиях осуществлена сотрудниками Московского горного института (МГИ) [2]. Исследования проводились применительно к озерным и прибрежным морским месторож-

дениям.

Принципиальная схема такого способа разработки показана на рис. 6. Е.А. Бессонов [3] полагает, что основными технологическими параметрами скреперно-землесосной разработки песчаных и песчано-гравийных россыпей (скреперная доставка донного материала к землесосной установке, расположенной у уреза воды) являются: длина скреперного забоя, глубина разработки и объем материала россыпи заключенного в веерном блоке. Графически зависимость перечисленных выше параметров приведена на рис. 7.

Исходными показателями для технологических расчетов является баланс производительности землесосной и канатно-скреперной установок:

$$Q_3 = Q_{c.y.}$$

Техническая производительность двухковшовой канатно-скреперной установки ($m^3/час$) определяется по выражению

$$Q_{c.y.} = \frac{3600 \cdot E_k \cdot K_H \cdot V_c}{K_p \cdot (V_c \cdot t_u + L_c)}$$

Рациональная длина радиального скреперного забоя (м) рассчитывается по формуле:

$$L_c = \frac{E_k \cdot V_c \cdot K_H}{S \cdot K_p \cdot V_{вс} \cdot \omega_{вс}}$$

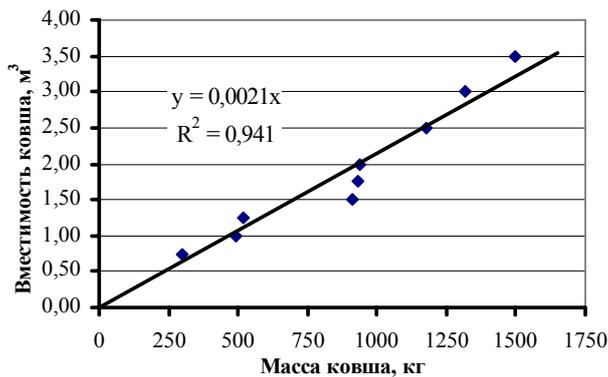


Рис. 4. Зависимость вместимости ковша от его массы

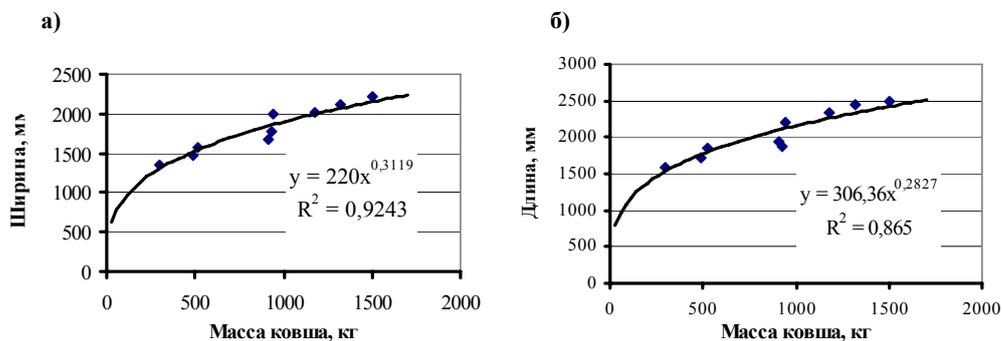


Рис. 5. Зависимость габаритов ковша от его массы: а) ширины ковша понизу от его массы; б) длины ковша от его массы

где E_k – геометрическая емкость ковшей скрепера, m^3 ; K_n – коэффициент наполнения ковша скрепера (для песков $K_n = 1,0-1,1$); V_c – скорость скреперования ($V_c = 0,8-1,5$ м/с); K_p – коэффициент разрыхления ($K_p=1,1-1,2$); t_u – время реверса скреперной лебедки ($t_u = 10-15$ сек); S – объемная консистенция всасываемой гидросмеси, доли ед.; $V_{вс}$ – скорость всасывания гидросмеси, м/с; $\omega_{вс}$ – площадь проходного сечения всасывающего патрубка грунтового насоса, м;

Допустимая глубина разработки скреперованием, м:

$$H_g = L_c \cdot \sin \alpha_{доп},$$

где $\alpha_{доп}$ – максимально допустимый угол скреперного забоя, град.

Следует отметить, что в случае разработки малых золотоносных россыпей, помимо особенностей технологического характера, которые будут учитываться дополнительными расчетами, исходные показатели для определения основных технологических параметров дополняются производительностью обогатительной установки, на которую пески из зумпфа подаются землесосной станцией, т.е.:

Таблица 2

Конструктивные размеры ковшей для разработки малых континентальных россыпей

Вместимость ковша, m^3	Масса кузова ковша, кг	Габариты, мм					
		A	B	C	D	E	F
0,105	50	736	926	354	710	801	174
0,126	60	779	975	376	751	839	192
0,147	70	817	1018	395	788	873	209
0,168	80	851	1057	412	821	904	224
0,189	90	883	1093	428	852	931	239
0,210	100	912	1126	443	880	957	253
0,231	110	939	1157	457	906	981	266
0,252	120	965	1186	470	931	1003	279
0,273	130	989	1213	482	954	1023	291
0,294	140	1012	1239	494	976	1043	303
0,315	150	1034	1263	505	997	1062	314

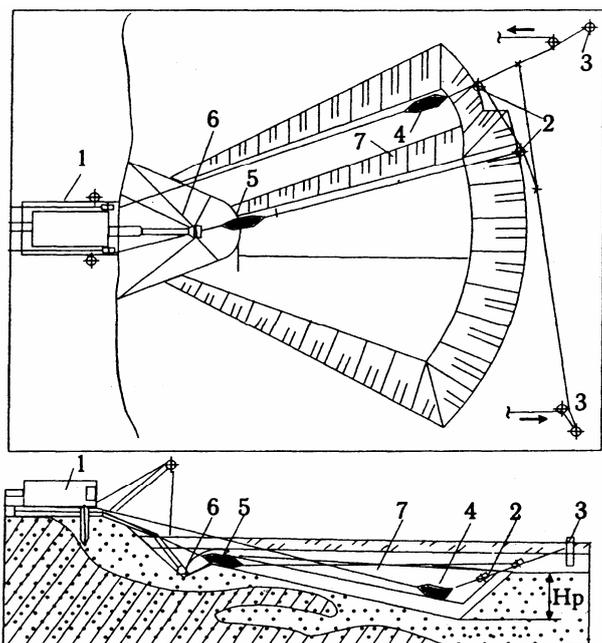


Рис. 6. Схема разработки прибрежных и озерных песчано-гравийных месторождений среднерно-землесосной установкой (по Е.А. Бессонову): 1 – землесосная установка; 2 – хвостовые блок-ролики; 3 – сваи, вмороженные в лед, или якоря летом; 4,5 – ковш канатного скрепера; 6 – зумпф; 7 – разрабатываемый верный блок

В определенной степени эти разработки могут быть использованы при освоении материковых малых обводненных россыпей золота.

Опытная установка МГИ (рис. 8) была испытана на Балтийском полигоне. Второй агрегат прошел испытание

при комплексных работах по опробованию шельфовых песков в бухте Рудная Японского моря (рис. 9). Авторами конструкций было предложено использовать эффект гидродинамического взвешивания для увеличения скорости движения ковша под водой и его емкости без существенного повышения мощности привода. Предположения были успешно подтверждены в процессе лабораторных и натурных испытаний и позволили получить основные расчетные зависимости.

При всех своих достоинствах рассмотренная техника и технология подводных горных работ применительно к разработке золотоносных россыпей имеют и некоторые недостатки. К ним следует отнести сравнительно неуправляемое движение скреперного ковша вследствие его гибкой подвески, что может привести к потерям песков. При веерной разработке конфигурация заходки в плане имеет вид вытянутого треугольника, что определяет неравно-

$$Q_{с.у.} = Q_3 = Q_{об.}$$

Это будет справедливо для циклично-поточной разработки обводненной россыпи, когда скреперная установка работает циклично, а землесосная и обогатительная установки – поточно (при достаточной емкости зумпфа с его предварительной загрузкой). Как вариант возможен случай раздельной работы добычной и обогатительной установок, когда пески от канатно-скреперного агрегата поступают на промежуточный склад, а затем с него (мини-экскаватором или одноковшовым мини-погрузчиком) – на обогащение, что возможно при сравнительно больших запасах малой россыпи, или разработке россыпи несколькими участками и централизованным складом добытых песков.

Московским Горным институтом [4] достаточно давно были рассмотрены технические варианты специальных канатно-скреперных установок для разработки приурезовой части морских шельфовых россыпных месторождений.

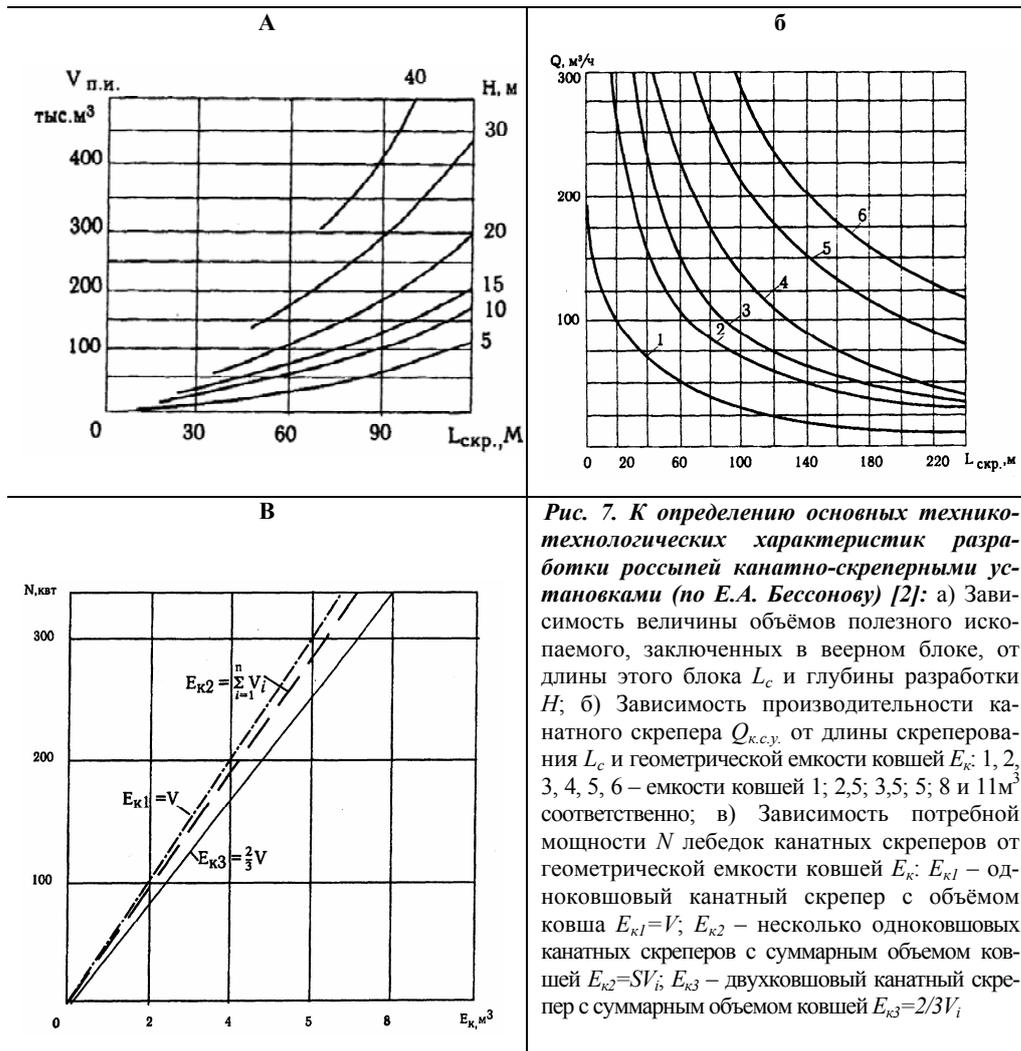


Рис. 7. К определению основных технико-технологических характеристик разработки россыпей канатно-скреперными установками (по Е.А. Бессонову) [2]: а) Зависимость величины объемов полезного ископаемого, заключенных в всерном блоке, от длины этого блока L_c и глубины разработки H ; б) Зависимость производительности канатного скрепера $Q_{к.с.у.}$ от длины скреперования L_c и геометрической емкости ковшей E_k : 1, 2, 3, 4, 5, 6 – емкости ковшей 1; 2,5; 3,5; 5; 8 и 11 м³ соответственно; в) Зависимость потребной мощности N лебедок канатных скреперов от геометрической емкости ковшей E_k : $E_{к1}$ – одноковшовый канатный скрепер с объемом ковша $E_{к1} = V$; $E_{к2}$ – несколько одноковшовых канатных скреперов с суммарным объемом ковшей $E_{к2} = \sum V_i$; $E_{к3}$ – двухковшовый канатный скрепер с суммарным объемом ковшей $E_{к3} = 2/3 V_i$

мерную загрузку ковша в процессе черпания и возможность его заваливания в выработанное пространство. Процесс разработки (черпания) происходит по всей длине заходки, что совершенно неоправданно, поскольку после заполнения ковша он должен выходить из забоя и перемещаться по кровле россыпи. Желательно разрабатывать россыпь параллельными заходками шириной равной ширине грунтозаборной части скреперного ковша. Конструкции скреперов по

рис. 8,9 достаточно сложны и велики по массе.

В связи с этим полагаем необходимым некоторое совершенствование существующих методов подводной канатно-скреперной разработки малых материковых золотоносных россыпей, а также пляжевой и прибрежно-морской части шельфовых россыпей, при соответствующей модернизации добычной техники.

В зависимости от мощности подводной россыпи ее отработка может осуще-

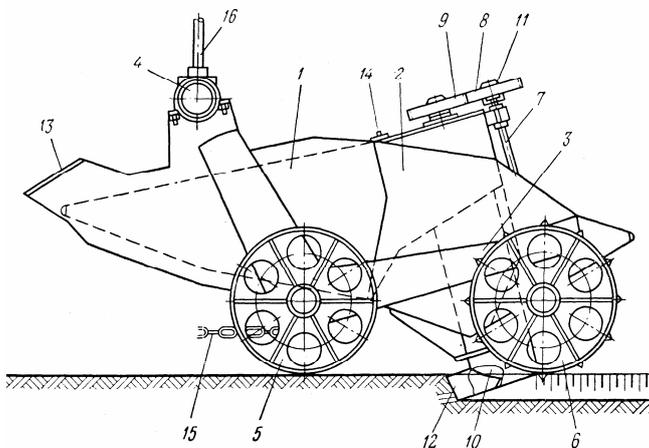


Рис. 8. Опытный подводный скрепер крылообразной формы: 1 — передняя подвижная емкость; 2 — задняя неподвижная емкость; 3 — боковая балка; 4 — верхняя ось поворота подвижной емкости; 5 — переднее колесо; 6 — заднее колесо; 7 — вертикальный вал; 8 — приводная шестерня; 9 — шестерня шнека; 10 — шнек; 11 — обгонная муфта; 12 — режущий контур; 13 — крыло для удержания передней подвижной емкости; 14 — замок; 15 — передняя упругая; 16 — мачта.

ствляться либо одним горизонтом по всей площади россыпи, либо отдельными горизонтами (слоями).

Нами уже отмечалась [5, 6] значимость и необходимость достаточно широкого освоения малых золотоносных россыпей и, в основном, за счет малого и среднего бизнеса. Очевидно, что для успешной работы по этому направлению необходимо определенное совершенствование и техники, и технологии горных работ.

Рассмотренные выше канатно-скреперные технологии в случае разработки малых обводненных материковых россыпей или пляжно-прибрежных залежей в основном могут быть примени-

мы для удаления торфов или вскрышных пород, где нет необходимости в особо тщательном ведении горных работ, как этого требует выемка песков (материк) и непосредственно материала россыпи (пляж, шельф). Можно сформулировать следующие предварительные требования к совершенствованию канатно-скреперной разработки малых россыпей:

- отработка россыпи должна вестись не по веерной схеме с неравномерными параметрами заходки (рис. 6), а параллельными заходками;

- внедрение ковша, в материал россыпи и последующая выемка песков с заполнением ковша должна производиться до момента его полной загрузки с последующим выведением из забоя;

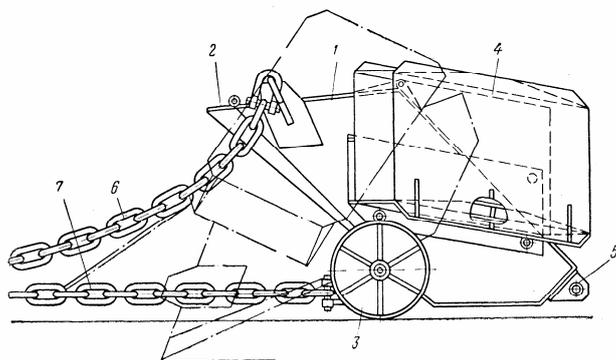


Рис. 9. Подводный скреперный ковш с крыльями: 1 — ковш емкостью 0,5 м³; 2 — крышка; 3 — каток; 4 — крыло; 5 — крепление холостого троса; 6 — рабочая упругая; 7 — транспортная упругая.

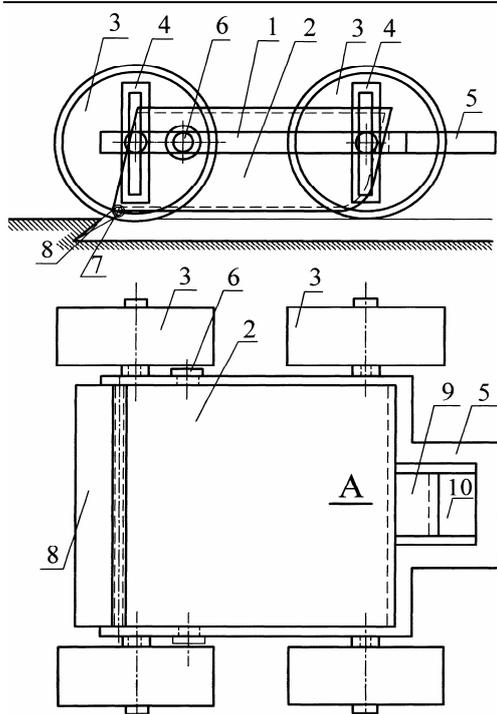


Рис. 10. Принципиальная схема ковша специальной конструкции: 1 – несущая рама; 2 – кузов ковша закрытого типа; 3 – колеса; 4 – вертикальные стойки рамы для крепления колес; 5 – рамный выступ для размещения крепления запирающего устройства; 6 – ось крепления (и вращения) кузова ковша; 7 – ось вращения (поворота) ножа ковша; 8 – нож ковша; 9 – опорный выступ кузова ковша (третья точка крепления кузова); 10 – подпружиненная (сталистая) опора кузова ковша

- последующее подводное транспортирование ковша должно производиться с увеличенной скоростью (двухскоростная лебедка), которая не должна зависеть от размывающих скоростей.

Очевидно, что для указанных целей необходима специальная конструкция ковша, упрощенная принципиальная схема которого рассматривается ниже (рис. 10).

Как видно из рис. 10 ковш открыт только со стороны забойной его части и имеет практически закрытую конструкцию, что делает его перемещение в транспортном режиме независимым от размывающих скоростей и позволяет по окончании процесса загрузки песками перемещаться далее с повышенной скоростью с целью сокращения времени рабочего цикла. К несущей раме 1 кузов ковша крепится в трех

точках (позиция 6 – две оси и 9, 10 – детали пружинящего сталистого запирающего узла) а сама рама оснащена четырьмя колесами 3.

Рабочий ход ковша (заполнение песками) показан на рис. 11 а, г (проходка разрезной заходки по пескам на заданную мощность слоя h). При этом колеса 3 ковша перемешаются по кровле пласта песков. По мере заполнения ковша песками увеличивается его масса и при полной его загрузке срабатывает подпружиненный запорный механизм (рис. 10, позиция А-А), загруженный ковш поворачивается вокруг осей 6 и задней нижней частью (оснащенной поперечным вращающимся роликом) опускается на плотик (или кровлю очередного слоя пласта при слоевой разработке пласта песков), как это показано на рис. 11 б). Нож ковша при этом выходит из контакта с забоем и при дальнейшей работе тя-

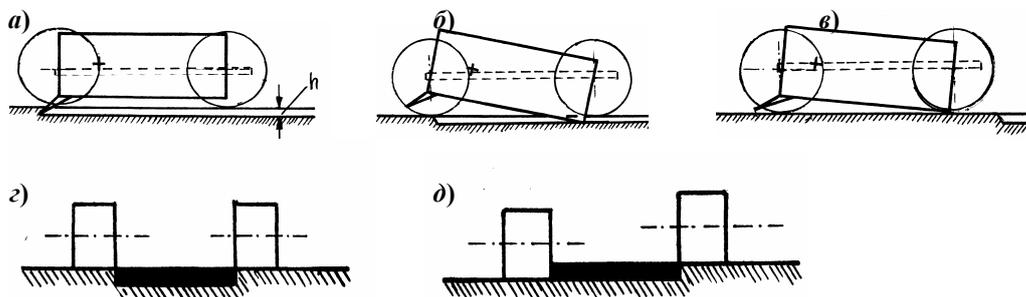


Рис. 11. Стадии отработки заходок подводной россыпи

говой лебедки ковш полностью выходит на кровлю разрабатываемой россыпи и перемещается в скоростном режиме (двухскоростная лебедка).

При проходке последующих параллельных заходок два колеса ковша перемещаются по направляющим стойкам с прорезами (с их закреплением в нужном положении) и движение ковша с его загрузкой происходит по схеме показанной на рис. 11 д.

Очевидно, что длина скреперования составит:

$$L = \frac{E \cdot k_n}{h \cdot B \cdot k_p}$$

Такая рабочая длина скреперования с заполнением ковша полностью может контролироваться длиной троса, наматываемого на лебедку, после чего вводится скоростной режим работы. Дополнительно момент заполнения ковша и его опускание задней частью на плотик регистрируется всплытием привязанного к запирающему механизму (рис. 10, позиции 9,10) контрольного бую, всплывающего в момент срабатывания запирающего механизма.

Разработка подводной россыпи параллельными заходками требует изме-

нения конструкции головной (лебедочной) и концевой опор канатно-скреперной установки. В нашем случае обе опоры должны, по мере отработки заходок, перемещаться синхронно. Здесь могут использоваться по два звена желез-нодородного пути, используемых при подземной разработке полезных ископаемых, на которых будут установлены опоры с поочередной переукладкой звеньев по мере отработки россыпи на ширину одного звена.

Кроме этого целесообразно проработать вариант технологической схемы с использованием двух лебедок и двух скреперных ковшей, работающих параллельно с целью существенного сокращения потерь времени на холостые перегоны. Применение рассмотренного варианта разработки малых золотоносных россыпей целесообразно при сравнительно узких и протяженных россыпях (а при двух лебедках и двух ковшах - и при значительных запасах песков), когда конструктивные особенности опор позволяют располагать их на противоположных берегах водоема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годес Э.Г., Нарбут Р.М.* Строительство в водной среде: Справочник – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1989
2. *Ялтанец И.М., Бессонов Е.А.* Технология разработки обводненных месторождений в условиях Крайнего Севера. ЦП ВНИПО, М., 1989.
3. *Бессонов Е.А.* Технология и механизация гидромеханизированных работ. М. Центр, 1999.
4. *Технология* добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов. Под общ. редакцией В.В. Ржевского, Г.А. Нурока. М. Недра, 1979.
5. *Добрецов В.В., Сендек С.В., Опрышко Д.С.* Минеральные ресурсы России и перспективы освоения малых россыпных месторождений золота. // Известия вузов. Горный журнал, 2005, №2.
6. *Добрецов В.В., Лигоцкий Д.Н., Опрышко Д.С., Якубовский М.М.* Разработка малых обводненных россыпей мини-драгами. Горный информационно-аналитический бюллетень, изд-во МГГУ, 2005, № 10.

Коротко об авторах

Добрецов Виктор Борисович – профессор, доктор технических наук,
Опрышко Денис Сергеевич – аспирант,
 Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (ТУ).



© Е.А. Федорова, 2006

УДК 622.271:622.693.25

Е.А. Федорова

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ БЕСТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ

Семинар № 16

В условиях все увеличивающихся масштабов разработки полезных ископаемых открытым способом бестранспортная система разработки нашла широкое применение на угольных и россыпных месторождениях. В последние годы ее совершенствование идет по пути применения землесберегающих технологий, предусматривающих заполнение выработан-

ного пространства действующих карьеров вскрышными породами. Однако со временем внутренние отвалы, сформированные на наклонных площадках из смесей маловлажных песчаных и глинистых пород, начинают деформироваться. Причина деформаций таких отвалов заключается в следующем.

В процессе свободной отсыпки происходит разделение компонент смесей. Куски глинистых пород скапливаются на контакте с основанием и у подножья откосов (см. фото 1). На начальном этапе самоуплотнения такие отвалы обладают повышенной устойчивостью вследствие: превышения прочностью плотной породы в куске прочности рыхлой компоненты смеси; высокого содержания глинистых включений в зонах концентрации касательных напряжений; пригрузки кусками глинистых пород нижней части откоса. Однако со временем куски глинистых пород насыщаются водой и теряют прочность. Вследствие этого на внутренних отвалах развиваются деформации оседания с выдавливанием глины из зоны контакта. На действующих карьерах, такого рода деформации снижают эффективность бестранспортной вскрыши.

С помощью стандартных дренажных систем, как правило, не удается стабилизировать состояние деформирующихся внутренних отвалов, по причине образования из кусков глинистых пород водонепроницаемого слоя на контакте отвала с основанием. Предотвратить развитие деформаций на внутренних песчано-глинистых отвалах можно путем селективной отсыпки пород, исключая образование такого слоя. Решению вопросов, связанных с управлением процессом разделения и перемещения пород в условиях бестранспортной системы разработки, посвящена эта работа.

В полевых условиях было установлено, что пески, лесосовые супеси и суглинки по-

ступают в отвалы из ковшей драглайнов в виде агрегатов, размером от 0,1 до 5 мм, а глины – преимущественно в виде крупных кусков, размеры которых колеблются в пределах от 20 до 65 см.

В лабораторных условиях на моделях был изучен характер распределения глинистых включений и степень влияния на их содержание высоты отвала, уровня разгрузки ковша экскаватора и фракционного состава кусков. Материалы, эквивалентные двум компонентам реальной смеси (рыхлой составляющей и кускам глины), подбирались исходя из условий:

$$\begin{cases} c_1^m / \alpha_r^{-1} \alpha_\gamma^{-1} c_1^n \approx 100; \\ tg\varphi_1^m \approx tg\varphi_1^n; \\ \gamma_1^n / \gamma_1^m \approx \gamma_2^n / \gamma_2^m, \end{cases}$$

где α_r - линейный масштаб $\alpha_r^{-1} = L^m / L^n$; L^m и L^n - линейные размеры модели и натуры; α_γ^{-1} - отношение удельного веса рыхлой составляющей смеси к удельному весу эквивалентного ей материала $\alpha_\gamma^{-1} = \gamma_1^m / \gamma_1^n$; $\gamma_1^{m,n}$, $c_1^{m,n}$, $tg\varphi_1^{m,n}$ - удельные веса, сцепления, коэффициенты трения соответствующие двум компонентам смеси и эквивалентным им материалам.

В качестве материала, эквивалентного рыхлой составляющей, была использована смесь, состоящая из промытого



Фото 1. Скопления кусков глинистых пород у подножья экскаваторных отвалов (разрез Харанорский)

мелкого речного песка, веретенного масла и глицерина, удовлетворяющая первым двум условиям, а в качестве второй компоненты - кубики размером 0,7; 0,35 и 0,175 см, сформированные из мастики, отвечающей третьему условию.

В ходе каждого эксперимента смесь с определенным содержанием включений поступала порциями с фиксированной отметки. После достижения моделью отвала заданной высоты из зон кольца разброса, изображенных на рис. 1, последовательно извлекались включения и взвешивались. Последовательно по регулярной схеме из моделей извлекались объемы. Соответствующие им порции смеси разделялись на компоненты ситовым методом и взвешивались. Основные этапы исследований отражают фотографии 2 и 3.

В результате визуальных наблюдений, сделанных в ходе экспериментов, и изучения фотоснимков установлено следующее.

При содержании в смеси до 5 % включений в зонах повышенной концентрации отдельные элементы не соприкасаются друг с другом. При более высоком содержании в пределах внутренней зоны кольца разброса из включений формируется контактная структура. По мере повышения содержания включений в смеси, их среднего размера, высоты отвала и уровня отсыпки увеличивается число рядов и ширина зоны, в пределах которой включения контактируют друг с другом.

При исследовании нижнего яруса моделей, отсыпанных из смесей с содержанием включений от 10 до 27 %, установлено, что контактная структура формируется и в зоне, примыкающей к кольцу разброса. По мере увеличения процентного содержания включений в

смеси и высоты модели эта зона расширяется.

При обработке экспериментальных данных использовались программные комплексы «GRUNT» и «DISINTEGRATION» [1 и 2]. С их помощью были: рассчитаны и получены пространственную привязку значения содержаний включений в отдельных объемах и зонах; построены изолинии и диаграммы, отражающие характер изменения рассматриваемых показателей; проверены гипотезы о соответствии исходных данных стандартным распределениям, степени однородности объектов и влиянии выделенных факторов на значения рассматриваемых показателей.

В случаях несоответствия исходных данных нормальному закону распределения снижение вероятности принятия ложных статистических гипотез было достигнуто за счет использования непараметрических тестов Ван-дер-Вардера, Ансари-Бредли, Краслера-Уоллиса и Фридмана.

Анализ диаграмм распределений, показал, что фракции не эквивалентны по содержанию включений в зонах кольца разброса. При одинаковом содержании в смеси включений максимального, среднего и минимального размера содержания фракций в кольце разброса и в его отдельных зонах соотносятся как $Z^k_1 > Z^k_2 > Z^k_3$. При этом расхождение между значениями Z^k_1 и Z^k_3 достигает 16 %.

В результате анализа картин изолиний установлено, что в моделях, высотой 10 см, начинают формироваться области, отличающиеся по процентному содержанию включений. Однако соответствующие им показатели не превышают содержания включений в смеси. В периферийной части нижнего яруса моделей, высотой 15 см, формируется область, в пределах которой среднее содержание включений превосходит ис-

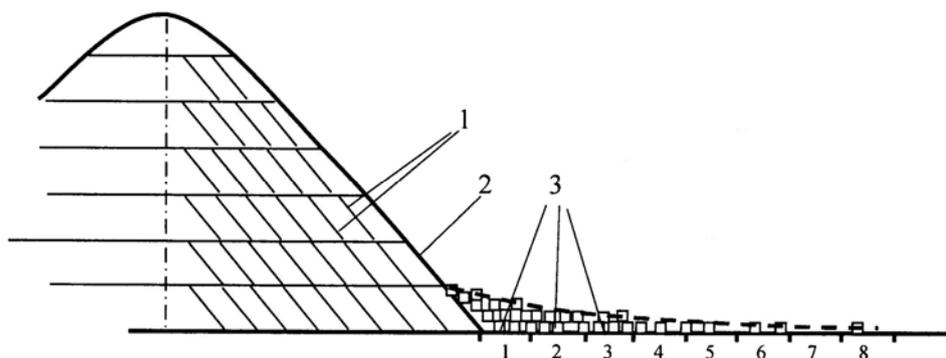


Рис. 1. Схема модели отвала: 1 – границы объемов; 2 – контур отвала; 3 – зоны кольца разброса



Фото 2



Фото 3

ходное значение. В ходе дальнейшего увеличения высоты отвала область повышенного содержания включений захватывает один за другим примыкающие к ней соседние объемы нижнего яруса. Параллельно формируется область с пониженным содержанием включений, объединяющая периферийные объемы верхних ярусов.

В результате сопоставления данных установлено, что от общей массы включений в кольцо разброса попадает от 9 до 32 %, а в пределы нижнего яруса - от 50 до 89 % включений от их общей массы в отвале. При этом содержание включений во внутренней области нижнего яруса незначительно отличается от сред-

него по отвалу значения, а в периферийной области – превышает его в несколько раз.

Результаты дисперсионного анализа подтвердили влияние высоты отсыпки и размера включений на процентное содержание включений в кольце разброса и независимость его от высоты отвала. Показали, что влияние первых двух факторов на содержание включений в отдельных объемах моделей отвалов неоднозначно. Оба фактора не оказывают влияния на объемы, которые пересекает центральная ось. В соседних объемах содержание включений зависит от размера включений, а в периферийных

объемах нижнего яруса - от высоты разгрузки ковша и высоты отвала.

В ходе статистического анализа данных найдено подтверждение гипотезы об эквивалентности моделей, содержащих только включения среднего размера, и моделей, содержащих включения трех размеров в соотношении 1:1:1 при прочих равных условиях. Установлено, что объемы, выделенные в пределах моделей отвалов, в наименьшей степени отличаются по содержанию включения минимального размера, и в наибольшей степени по содержанию включений максимального размера. Результаты проверки статистических гипотез о равенстве средних значений и дисперсий нашли отражение в схемах разграничения отвалов одинаковой высоты на зоны квазиоднородные по содержанию включений. После перехода от линейных параметров моделируемых объектов к размерам их реальных прототипов был установлен вид функции, связывающей содержание включений в кольце разброса - Z_k с их содержанием в исходной смеси - p , средним размером - r , высотой разгрузки ковша экскаватора - H , а также рассчитаны коэффициенты эмпирических уравнений, предназначенных для определения содержания включений в выделенных зонах отвалов различной высоты - h .

$Z_k = p(33,3742 r^{0,7} + 0,0526 H)/100$, при $35 \geq h \geq 20$ м.

Варианты схем разграничения отвалов, информация об объемах выделенных зон и соответствующие им эмпирические уравнения приведены в табл. 1.

Полученные результаты были положены в основу последнего блока программного комплекса «DISINTEGRATION», предназначенного для: определения процентного содержания включений в составе смеси, поступающей в отвалы при экскавации участков с выдержанной мощно-

стью отложений; разграничения отвалов на квазиоднородные зоны; расчета содержания включений в каждой из них и в отвале в целом.

Аналитическая модель распределения включений найдено применение при решении задачи параметризации технологических схем селективного отвалообразования, предусматривающих удаление включений из зон с повышенным их содержанием и колец разброса промежуточных отвалов и перемещение удаленных объемов в верхние ярусы внутренних отвалов или во внешние бульдозерные отвалы так, как это показано на рис. 2.

Методом численного моделирования различных условий удаления включений из экскаваторных отвалов были определены значения числа промежуточных перевалок, обеспечивающих понижение содержания включений до 5 %, и соответствующие им остаточные объемы вскрышных пород. Анализ результатов расчетов показал, что число промежуточных перевалок снижается по мере увеличения среднего размера включений, высоты отвала и высоты разгрузки ковша экскаватора. Установленные тенденции проиллюстрированы рис. 3–5.

Данные, приведенные в табл. 2, позволяют оценить эффективность рассматриваемых технологических схем в различных условиях.

Выводы

1. В процессе свободной отсыпки смесей песчано-глинистых пород у подножья откосов скапливаются куски глины, а в отвальных массивах формируются зоны, существенно отличающиеся по их процентному содержанию. Количество и положение квазиоднородных по содержанию глинистых

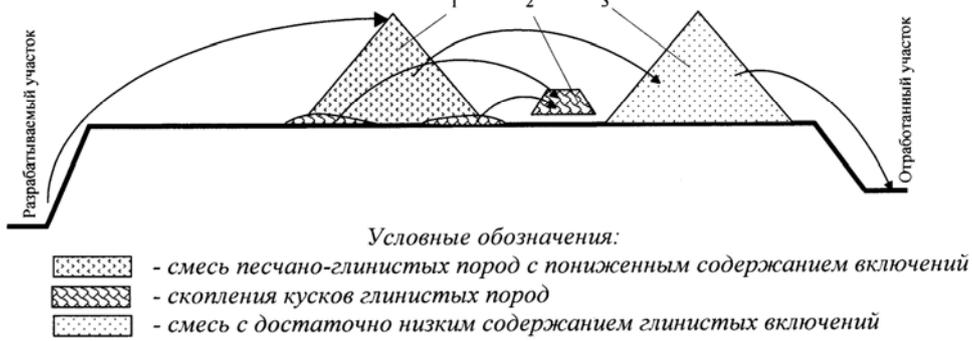


Рис. 2. Схема перемещения пород из экскаваторных отвалов: 1 - первичный отвал; 2 - бульдозерный отвал; 3 - последний из промежуточных отвалов

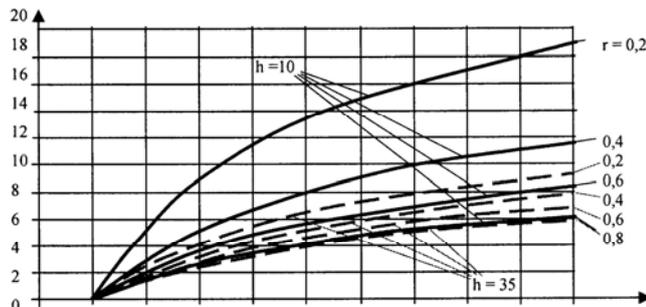


Рис. 3. Перемещение включений из кольца разброса: r - размер включений; h - высота отвала

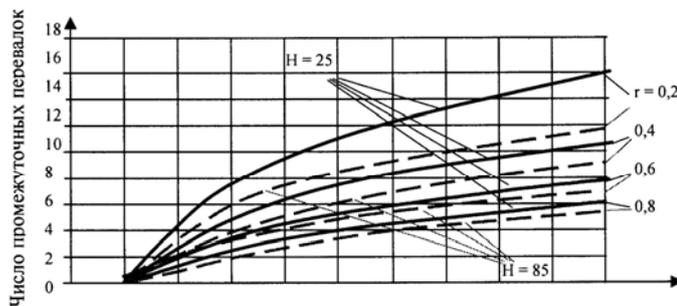


Рис. 4. Перемещение включений из кольца разброса двадцатиметрового отвала: r - размер включений; H - высота разгрузки ковша экскаватора

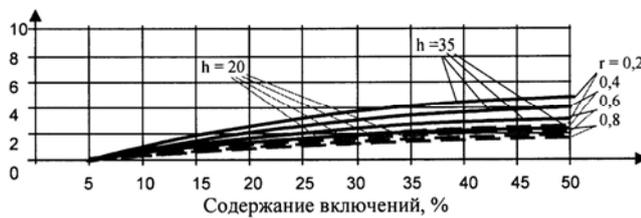


Рис. 5. Перемещение включений из кольца разброса и 25% отвальных пород с повышенным содержанием включений из периферийной зоны нижнего яруса отвалов различной высоты

Таблица 2

Нп м	Z%	Размер включений м																
		0,2	0,4	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6	0,8	
25 20	Объем перемещаемой драгайной смеси отвала, %																	
													100					
	5													0	0	0	0	
	10													5	3	2	1	
	15													8	5	3	3	
	20													8	6	4	3	
	25													10	7	5	4	
	30													12	8	6	5	
	35													13	9	6	5	
	40													14	10	7	5	
45													15	10	7	6		
50													16	11	8	6		
38 25	Объем перемещаемой драгайной смеси отвала, %																	
	60				75				87				100					
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	2	1	1	0	2	1	1	0	2	2	1	1	3	2	2	1	
	15	2	2	1	1	2	2	1	1	3	2	2	1	6	4	3	2	
	20	3	2	2	1	3	2	2	2	4	3	2	2	8	6	4	3	
	25	3	2	2	1	4	3	2	2	5	4	3	2	9	7	5	3	
	30	4	3	2	2	5	4	2	2	5	4	3	3	10	8	6	4	
	35	4	3	2	2	5	4	3	2	6	4	4	3	11	8	6	5	
	40	4	3	2	2	5	4	3	2	6	5	4	3	12	9	7	5	
45	5	4	3	2	6	4	3	3	7	5	4	3	13	9	7	6		
50	5	4	3	2	6	5	4	3	7	5	4	4	13	10	8	6		
38 30	Объем перемещаемой драгайной смеси отвала, %																	
	64				75				88				100					
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	1	1	0	0	1	1	1	0	2	2	1	1	3	2	2	1	
	15	2	1	1	1	2	2	1	1	3	2	2	1	5	4	3	3	
	20	2	2	1	1	3	2	2	1	4	3	2	2	6	5	4	3	
	25	3	2	2	1	3	3	2	2	4	4	3	2	7	5	5	4	
	30	3	2	2	1	4	3	2	2	5	4	3	3	8	7	6	5	
	35	3	3	2	2	5	4	3	2	5	4	4	3	9	8	6	5	
	40	4	3	2	2	5	4	3	2	6	5	4	3	9	8	7	5	
45	4	3	2	2	5	4	3	3	6	5	4	3	10	8	7	6		
50	4	3	3	2	5	4	3	3	7	5	4	4	11	7	7	6		
38 35	Объем перемещаемой драгайной смеси отвала, %																	
	64				75				88				100					
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	
	15	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	4	3	3	3	
	20	1	1	1	1	2	2	1	1	3	2	2	2	5	4	4	3	
	25	2	1	1	1	2	2	2	1	3	3	2	2	6	5	5	4	
	30	2	2	1	1	2	2	2	2	4	3	3	2	7	6	5	5	
	35	2	2	2	1	3	2	2	2	4	3	3	3	8	6	6	5	
	40	2	2	2	1	3	3	2	2	4	4	3	3	8	7	6	5	
45	2	2	2	2	3	3	2	2	4	4	4	3	9	7	6	6		
50	3	2	2	2	4	3	3	2	5	4	4	3	9	8	7	6		

Условные обозначения:

-  - перемещение во внутренний отвал не более 75 % от массы вскрышных пород;
-  - от 75 до 50 % включительно;
-  - от 50 до 25 % включительно;
-  - менее 25 %

включений зон в конусообразном отвале изменяется по мере увеличения его высоты и процентного содержания включений в смеси. При превышении содер-

жанием включений в смеси 5 % на границе с основанием, формируется контактная структура. Образуют ее куски глин, пространство между которыми на

начальном этапе уплотнения представляет собой систему открытых пустот. Контактная структура такого рода характеризуется высокой водопроницаемостью и низкой водопрочностью. В процессе самоуплотнения отвалов из нее формируется водонепроницаемый слой, что со временем приводит к падению прочности пород на контакте отвала с основанием.

1. По мере увеличения высоты разгрузки ковша и среднего размера глинистых включений их содержание повышается в пределах нижнего яруса экскаваторного отвала и кольца разброса. Перечисленные факторы заметно влияют на число промежуточных перевалок, обеспечивающих понижение содержания включений в смеси до уровня, при котором глинистые включения перестают влиять на устойчивость внутреннего отвала,

2. В результате удаления включений только из колец разброса экскаваторных отвалов на участках, ширина ко-

торых обеспечивает необходимое количество промежуточных перевалок, можно перемещать во внутренний отвал максимальные объемы вскрышных пород с достаточно низким содержанием кусков глин. Однако область применения таких схем ограничена тремя параметрами – высотой разгрузки ковша экскаватора, средним размером включений и их содержанием в смеси, поступающей в первичный отвал. Извлечение объемов породы с повышенным содержанием включений из нижних ярусов промежуточных отвалов расширяет область применения рассматриваемых схем. Наиболее высоким потенциалом обладают участки, обеспечивающие возможность от 2 до 4 перевалок. Им соответствует наибольшее число вариантов, отличающихся по объему извлекаемой из промежуточных отвалов породы, среднему размеру включений и их процентному содержанию в исходной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорова Е. А., Шайдуров Д. А. Программный комплекс для разграничения отвальных массивов на квазиоднородные зоны/ Горный информационно-аналитический бюллетень № 11. Москва: МГГУ, 2002.

2. Федорова Е. А., Заборовская С. И. Программный комплекс для обработки дан-

ных по процентному содержанию крупных включений в рыхлой массе и разграничению отвальных массивов по этому признаку/ Материалы 2-й межрегиональной конференции «Энергетика в современном мире». Чита: ЧитГТУ, 2003 г.

Коротко об авторах

Федорова Е.А. – кандидат технических наук, доцент Читинского государственного университета.

