



УДК 622.271.3

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЯРУСНЫХ ОТВАЛОВ ПРИ АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ НА РАЗРЕЗАХ

Колесников В.Ф.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

10 января 2023 г.

Рецензирование:

25 февраля 2023 г.

Принята к печати:

13 марта 2023 г.

Ключевые слова:

отвалообразование,
гидроотвал, открытые горные
работы, многоярусный отвал,
автомобильный транспорт,
экскаваторно-бульдозерный
комплекс

Аннотация.

Отвалообразование является одним из заключительных процессов открытой угледобычи, от эффективности которого в значительной мере зависит надежность работы всей технологической цепочки карьера. В настоящее время на большинстве разрезов Кузбасса отсыпаются одноярусные внешние бульдозерные отвалы высотой до 40 м. В результате этого площадь земель, нарушенных внешними отвалами, составляет около 40% от всех площадей, нарушаемых при открытой добыче угля. Небольшая высота бульдозерных отвалов при автомобильном транспорте обусловлена как их устойчивостью, так и ростом эксплуатационных затрат по транспортной составляющей (увеличение длины транспортирования, расхода топлива, износа автосамосвала и т.д.). Снижение влияния этих факторов возможно при отсыпке многоярусных отвалов, формируемых с помощью бульдозерно-экскаваторных комплексов, причем экскаваторы, входящие в комплекс, должны обладать возможностью нижнего черпания (ниже уровня своего стояния). В этом случае при отсыпке верхних ярусов отпадает необходимость заезда автосамосвалов на них. Отсыпка пород с их транспортировкой автосамосвалами производится только на первом нижнем (базовом) ярусе с помощью бульдозера. Избыточный объем пород из первого (базового) яруса переэкскавируется на вышележащие ярусы экскаваторами-драглайнами. В данной работе предложена технология внешнего бульдозерно-экскаваторного многоярусного отвалообразования в различных условиях и обоснованы параметры отвалов. Также приводится оценка их эффективности по критериям удельной землеемкости отвалообразования.

Для цитирования: Колесников В.Ф. Исследование и разработка технологии формирования многоярусных отвалов при автомобильном транспорте на разрезах // Техника и технология горного дела. – 2023. – № 1(20). – С. 40-70. – DOI: 10.26730/2618-7434-2023-1-40-70, EDN: YTLSTMW

Введение. Анализ технологических решений бульдозерного внешнего отвалообразования при автомобильном транспорте

Отвалообразование в значительной степени определяет эффективность открытой угледобычи. При автомобильном транспорте в качестве отвалообразователей на разрезах в основном применяются бульдозеры как отечественного, так и зарубежного производства различных классов по их мощности.

Авторы считают нужным подчеркнуть, что в данной статье ими используется термин «отвалообразователь» не в его общепринятом значении.

Согласно Горной энциклопедии [1], отвалообразователь – это машина непрерывного действия, предназначенная для укладки вскрышных пород в отвал посредством ленточного



конвейера, расположенного на консоли. Отвалообразователи различаются по степени поворотности отвальной и приемной консолей (полноповоротные или частично поворотные с одним или двумя поворотными кругами и неповоротные); по типу ходового оборудования (на гусеничном, рельсовом, шагающем, шагающе-рельсовом ходу); по типу приемных устройств (консоль или соединительный мост с отдельно стоящей промежуточной опорой). Иногда отвалообразователь может быть конструктивно соединен с многоковшовым экскаватором.

Однако в той же Горной энциклопедии непосредственно после этого определения добавлено следующее:

Понятие «отвалообразователь» имеет и более широкое толкование, под которым подразумевается всякая машина (одноковшовый экскаватор, отвальный плуг и др.), используемая для образования отвала [1].

Поэтому в данной работе отвалообразователем именуется любое оборудование, применяемое на формировании отвала: бульдозер, мехлопата, драглайн и т.д.; также может быть добавлено определение: «бульдозерный отвалообразователь» и др.

Объект исследования – технология отвалообразования на разрезах Кузбасса.

Предмет исследования – технология многоярусного отвалообразования при автомобильном транспорте.

Цель работы: обосновать параметры многоярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования, обеспечивающие снижение землеемкости и стоимости отвалообразования.

Задачи исследования:

- ✓ установить взаимозависимость параметров отвальных ярусов;
- ✓ выявить взаимозависимость производительности отвалообразователей, занятых при отсыпке ярусов отвала;
- ✓ разработать технологию многоярусного отвалообразования с предварительной оценкой ее устойчивости.

Под внешние бульдозерные отвалы обычно выделяются малопродуктивные непригодные для сельскохозяйственного использования земли, а в исключительных случаях и земли сельскохозяйственного назначения.

Следует отметить, что в начальный период развития открытой добычи в Кузбассе широко применялась технология выемки мягких пород гидравлическим способом. В настоящее время почти на всех разрезах имеются старые гидроотвалы, которые могут быть использованы для расположения на них из крепких пород вскрыши.

Практика ведения отвальных работ на открытых разработках показывает, что имеется достаточно широкий набор технологических решений бульдозерного отвалообразования: одноярусные и многоярусные; на устойчивом и на неустойчивом основании; на горизонтальном и наклонном (косогоры, лога и пр.) основании; на площадях старых гидроотвалов; на обводненных склонах и логах.

Можно выделить группы технологий отвалообразования на устойчивое и неустойчивое основание.

В свою очередь, под устойчивым основанием понимается горизонтальная или наклонная плоскость из крепких пород. Неустойчивое основание – это в основном площади, занимаемые болотами и старыми гидроотвалами.

Бульдозерные отвалы отсыпаются обычно одним ярусом и, как исключение, двумя и более ярусами при отсутствии свободных площадей под отвалы.

Такое положение объясняется тем, что при одноярусном отвалообразовании эксплуатационные расходы ниже, чем при многоярусном, вследствие уменьшения длины транспортирования пород по поверхности отвала и низким использованием вместимости верхних ярусов отвала.

Так, при двухъярусном отвале вместимость верхнего яруса составляет 0,5-0,7. Это объясняется тем фактом, что часть поверхности нижнего яруса занята заездами на верхний ярус, откосами и бермами.



Известны технологические схемы отвалообразования с применением в качестве отвалообразователей только одних бульдозеров, бульдозеров в комплекте с вибрационными отвалообразователями конструкции ИГД СО РАН и с самоходными платформами [3, 4, 6-12].

Особую группу технологических схем составляют схемы отвалообразования на поверхности старых гидроотвалов [13-17].

Здесь следует выделить несколько основных технологий.

Отсыпка «сухих» отвалов на поверхности гидроотвала с созданием опережающего предотвала небольшой высоты (5-10 м), формируемого по площадной технологии. Затем с некоторым отставанием (до 40 м) отсыпается второй (основной) ярус отвала с увеличенной высотой.

Предлагаются также схемы с отсыпкой дамбы из дренирующих пород по контуру гидроотвала с последующим подвиганием отвального фронта к центру гидроотвала. При этом необходимость создания опережающего предотвала сохраняется.

Основным требованием к технологии бульдозерного отвалообразования во всех их разнообразии является обеспечение безопасности работы автосамосвалов при их разгрузке на отвале.

Одним из обязательных мероприятий, которые необходимо выполнить до отсыпки отвала «сухих» пород на гидроотвале, является удаление воды из пруда-отстойника. Это связано с тем, что при отсыпке породы в воду следует ожидать подъема уровня воды в прудке, что может привести к размыву пород, образованию прорана и катастрофическому растеканию воды и водонасыщенной породы за пределы гидроотвала. Отметим, что в данном направлении не только активно ведутся научные работы, но и защищаются диссертации [18-25].

Расчеты устойчивости дамб показывают, что устойчивость для некоторых из них обеспечивается с коэффициентом запаса ниже нормативного как на современном этапе развития горных работ на гидроотвале, так и при его нагружении отвалами «сухой» вскрыши. Поэтому до начала ведения отвальных работ на поверхности и дамбах гидроотвала следует отсыпать пригруз со стороны низового откоса (рис. 1).

Процессы отвалообразования являются завершающим этапом горных работ и при транспортных системах открытой разработки месторождений характеризуются жесткой взаимосвязью работы транспорта и отвального оборудования. Внешние отвалы в Кузбассе обычно формируются с применением бульдозеров и экскаваторов, доставка породы осуществляется либо автомобильным, либо железнодорожным транспортом.

Технологические схемы внешнего отвалообразования определяются комбинацией отвального оборудования и транспорта.

При разработке и обосновании технологических схем отвалообразования на гидроотвалах следует на первом этапе определить порядок и последовательность размещения отвальных масс в сооружении, исходя из условия локализации отсыпанных пород в пределах обоснованных контуров сооружения, т. е. нераспространения отвальных масс и пород основания за границы земельного отвода.

Выполнение этого условия обеспечит безопасность горных работ на территориях, сложенных слабыми водонасыщенными намывными отложениями, деформации которых могут привести к серьезным экологическим последствиям.

При отсыпке первого яруса отвала на гидроотвале наиболее предпочтительным направлением является развитие работ от периферии к центру. На начальном этапе отвал формируется на дамбах гидроотвала или рядом с ними, а в последующем развитии отвальных работ переносится на намывные отложения. Такая последовательность развития отвала позволяет отжать намывные породы от границ гидроотвала к его центру, обеспечивая создание упорной призмы.

Важным параметром при отвалообразовании на слабом основании является высота первого отвального яруса, при выборе которого следует учитывать состояние устойчивости откосов. В случаях, требующих обязательного обеспечения устойчивости отвалов, высота отвального яруса выбирается на основании соответствующих расчетов.

Опыт ведения отвальных работ на гидроотвалах показывает, что при отсыпке предотвала происходит внедрение «сухих» пород в намывной массив на величину, примерно равную высоте предотвала, т.е. общая высота отвала равна двойной высоте предотвала.

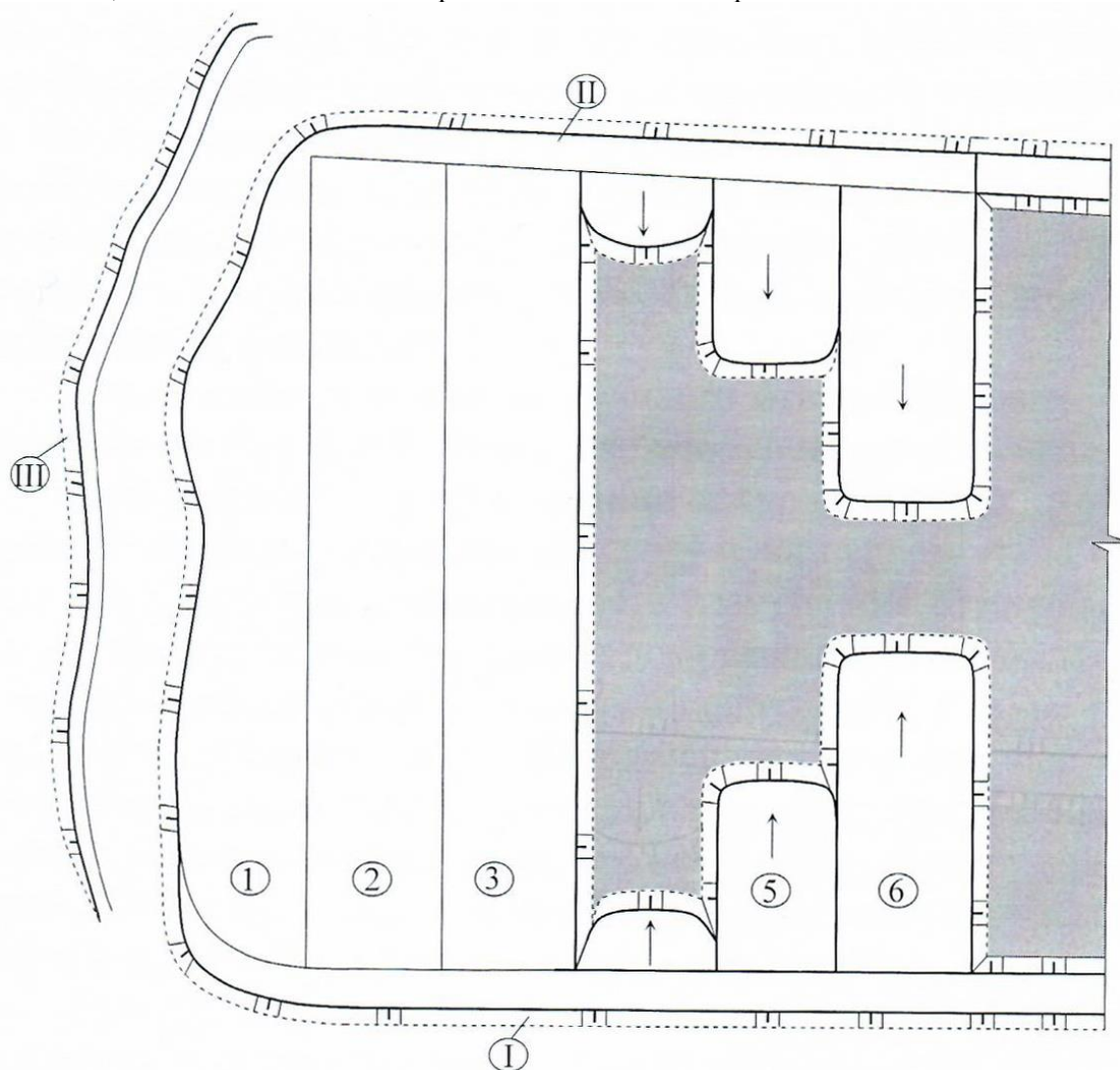


Рис. 1. Пример технологии отсыпки отвальных блоков на площади гидроотвала Сартакинского поля разреза «Моховский»: I – западная пионерная насыпь; II – восточная пионерная насыпь; III – пригрузочный ярус; → - направление движения отвального фронта

Fig. 1. Example of dumping technology of waste blocks in the area of the Sartakinskoye field of the Mokhovskiy open pit: I – western pioneer pile; II – eastern pioneer pile; III – surcharging tier; → - direction of movement of the dumping front

Бульдозерные отвалы прямоугольной формы, отсыпаемые на равнинную поверхность, обычно имеют соотношение длины к ширине 2:1.

При ведении отвальных работ на гидроотвалах должны соблюдаться следующие меры безопасности.

1. Отвал на гидроотвале рекомендуется формировать с применением автомобильного транспорта и бульдозеров по двум схемам: 1) с обеспеченной устойчивостью – при отсыпке пионерных насыпей; 2) при контролируемых деформациях откосов первого яруса – на поверхности гидроотвала.

2. Обязательным мероприятием при ведении отвальных работ на гидроотвале является мониторинг безопасности, который состоит из гидромеханического, маркшейдерского и технологического мониторинга. Гидромеханический мониторинг устойчивости следует



производить по створам, где установлены открытые пьезометры. Он должен включать замеры уровней воды в теле плотины и оценку устойчивости на ЭВМ по специально созданной гидромеханической модели. Маркшейдерский мониторинг включает:

1) наблюдения за деформациями дамб гидроотвалов и внешних откосов отвалов «сухой» вскрыши; 2) наблюдения за характером и динамикой развития оползней, сопровождающих ведение отвальных работ на намывной поверхности.

Технологический мониторинг содержит в себе наблюдения за параметрами отвалообразования и, в частности, за условием, обеспечивающим превышение верхней бровки отвала над поверхностью гидроотвала в 10 метров.

Во всех предлагаемых схемах отсыпка предотвала на гидроотвалах производится бульдозером в комплексе с автосамосвалом. При этом бульдозер и автосамосвал располагаются на поверхности отсыпаемого предотвала, т. е. находятся в зоне возможных просадок и оползней предотвала. В этом случае снижаются условия безопасности.

Анализ бульдозерного отвалообразования на вышеперечисленных разрезах показал, что процесс отвалообразования при автотранспорте состоит из разгрузки автомашин на верхней площадке отвального уступа, перемещения породы под откос или планировки ее на площадке, поддержания автодорог на отвале. Последние два вида работ в основном выполняются бульдозером. Строительство бульдозерных отвалов на равнинной местности заключается в подведении автодорог к отвальному отводу и создании «пионерного» отвала. Отвал наращивается до проектной высоты путем послойного складирования пород. На косогорах создается площадка для разворота автосамосвала в полутраншее или насыпи. В период эксплуатации разреза выделяют два способа отвалообразования: периферийный и площадной. В первом случае породу разгружают прямо под откос или в непосредственной близости от него, а затем бульдозерами перемещают к верхней бровке отвала. Во втором случае породу разгружают на всей площади отвала, затем ее планируют бульдозерами, после чего отсыпают следующий слой.

Преимущественное расположение большинства автоотвалов – внешнее, за редким исключением внутреннее, что, скорее всего, приурочено к периоду затухания деятельности разреза либо к подходу горных работ к конечным контурам карьерного поля.

Стремление разрезов компании снизить дальность транспортирования вскрыши привело к тому, что все внешние автомобильные отвалы стали располагать в непосредственной близости от контуров карьерного поля, что зачастую предопределяется дальностью транспортирования в диапазоне 2-3,5 км. Так, количество внешних автоотвалов равно двум практически на всех разрезах «Кузбассразрезугля». Средняя высота автоотвалов составляет от 18 до 32 метров при общем объеме пород во внешних бульдозерных отвалах 806,5 млн м³. Длительная эксплуатация разрезов компании в течение нескольких десятилетий привела к тому, что площади, занимаемые внешними отвалами, достигают 3494 га и эта величина прогрессирует с каждым годом. Землеемкость бульдозерного отвалообразования колеблется от 2,7 до 5,6 га на 1 млн м³ пород, укладываемых в отвал.

К недостаткам внешнего бульдозерного отвалообразования относятся:

- 1) большая дальность перемещения вскрышных пород из забоя во внешние отвалы;
- 2) размещение отвалов вблизи контуров карьерного поля предопределяет тот факт, что в ближайшие десятилетия разрезы окажутся ограниченными собственными отвалами и их дальнейшее развитие будет проблематичным;
- 3) расположение внешних автоотвалов вблизи контуров карьера снижает устойчивость бортов карьера, что может привести к внезапным деформациям прибортового массива;
- 4) необходимость поддержания отвальных автодорог приводит к постоянному одалживанию сельскохозяйственных земель или необходимости постоянного наращивания отвала вверх, что снижает его устойчивость;
- 5) неиспользование имеющихся старых гидроотвалов как возможных площадок под строительство новых внешних автоотвалов;
- 6) прочие недостатки.

Все вышесказанное предопределяет разработку нового подхода к внешнему бульдозерному отвалообразованию при автотранспорте.

Ниже приводятся структурные схемы одно- и многоярусных отвалов, отсыпаемых на различные основания: устойчивое, неустойчивое, горизонтальное, наклонное и т.д. (рис. 2-12).

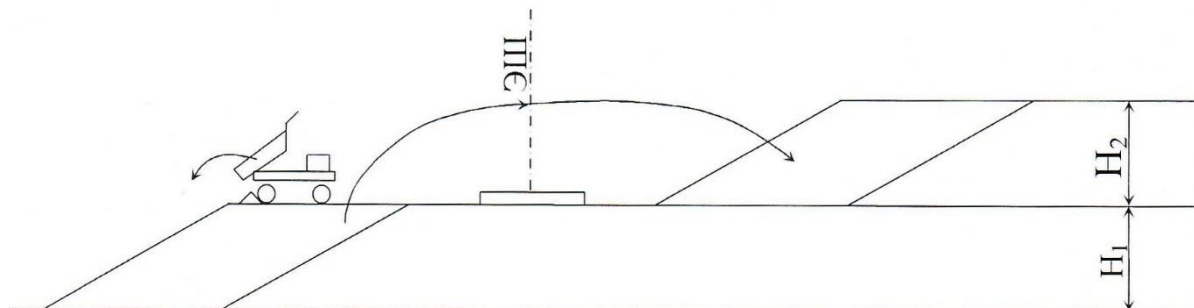


Рис. 2. Схема двухъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на устойчивом основании

Fig. 2. Scheme of two-tier bulldozer-excavator dumping on a stable foundation

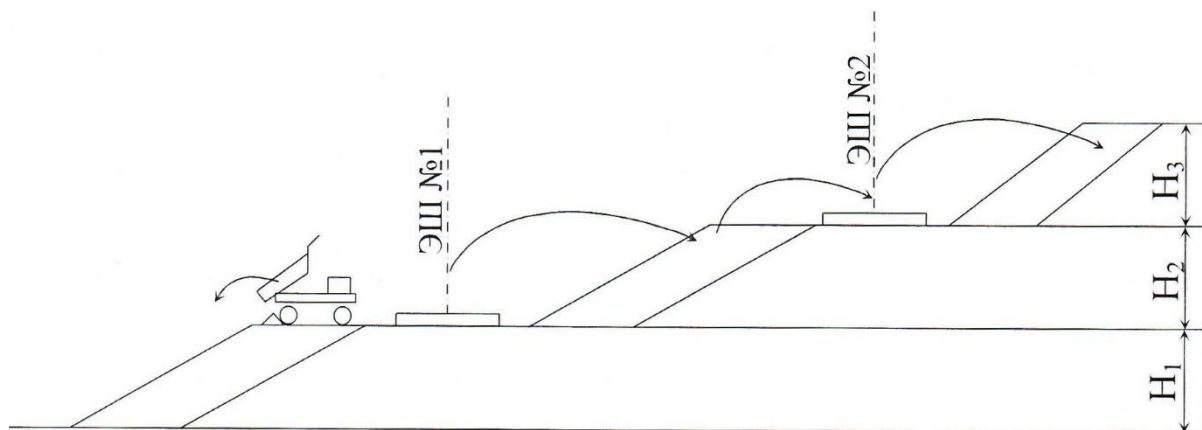


Рис. 3. Схема трехъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на устойчивом основании

Fig. 3. Scheme of three-tier bulldozer-excavator dumping on a stable foundation

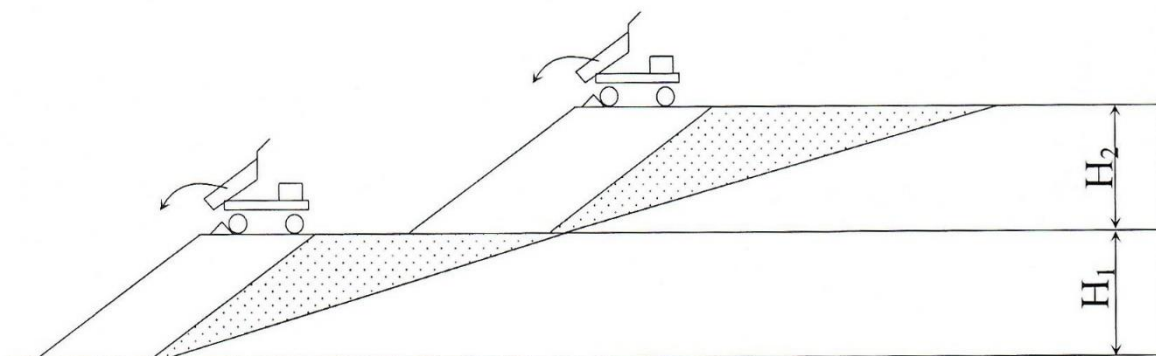


Рис. 4. Схема двухъярусного отвалообразования на устойчивом косогоре

Fig. 4. Scheme of two-tiered dumping on a stable slope

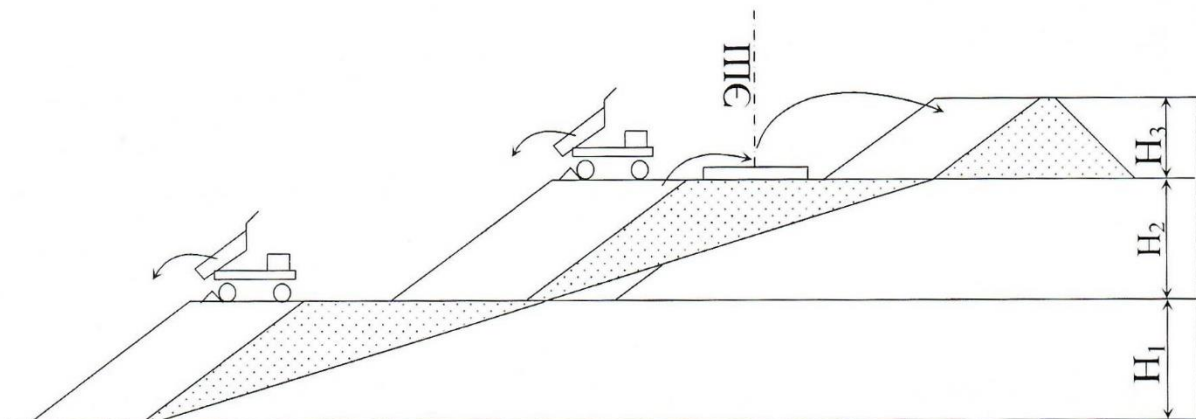


Рис. 5. Схема трехъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на устойчивом косогоре

Fig. 5. Scheme of three-tier bulldozer-excavator dumping on a stable slope

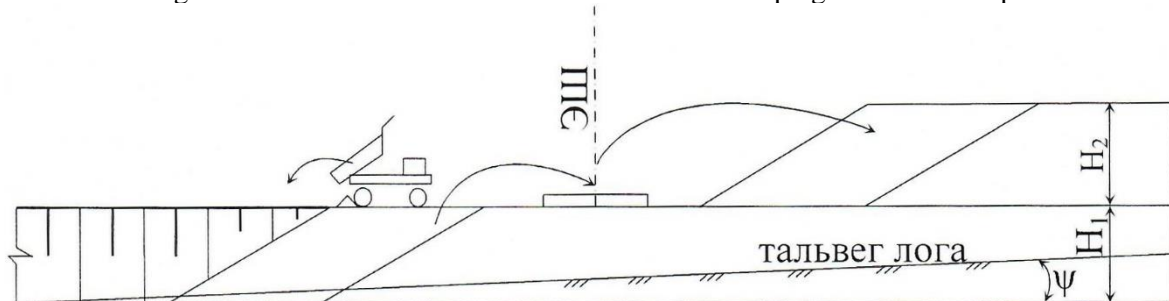


Рис. 6. Схема двухъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на устойчивом основании лога

Figure 6. Scheme of two-tier bulldozer-excavator dumping on the stable foundation of the ravine

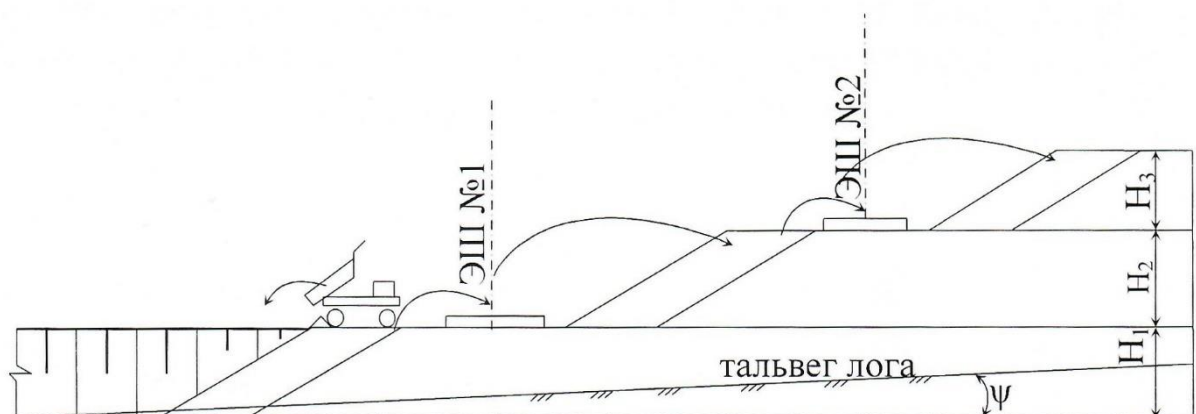


Рис. 7. Схема трехъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на устойчивом основании лога

Fig. 7. Scheme of thtee-tier bulldozer-excavator dumping on the stable foundation of the ravine

Для размещения пород вскрыши требуется определенная территория, часто находящаяся на значительном расстоянии от разреза. Под отвалы нередко отводятся ближайшие плодородные пахотные земли, что наносит немалый ущерб сельскому хозяйству. В связи с этим рядом авторов [26-39] были выполнены научно-исследовательские и проектные проработки по практическому использованию территорий старых гидроотвалов, площади которых только в Кузбассе составляют более 20 км². В технической литературе вопросы, связанные с использованием площадей гидроотвалов под отвалы скальных пород, в последнее время занимают значительное



место. Первые отсыпки «сухих» отвалов на гидроотвалы сопровождались внезапными обрушениями откосов и вынуждали в конце концов прекращать опасный эксперимент.



Рис. 8. Схема двухъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на площади старого гидроотвала с отсыпкой предотвала драглайном

Fig. 8. Scheme of two-tier bulldozer-excavator dumping on the old hydro dump area with dragline backfilling of the pre-dump



Рис. 9. Схема трехъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на площади старого гидроотвала с отсыпкой предотвала драглайном

Fig. 9. Scheme of three-tier bulldozer-excavator dumping on the old hydro dump area with dragline backfilling of the pre-dump

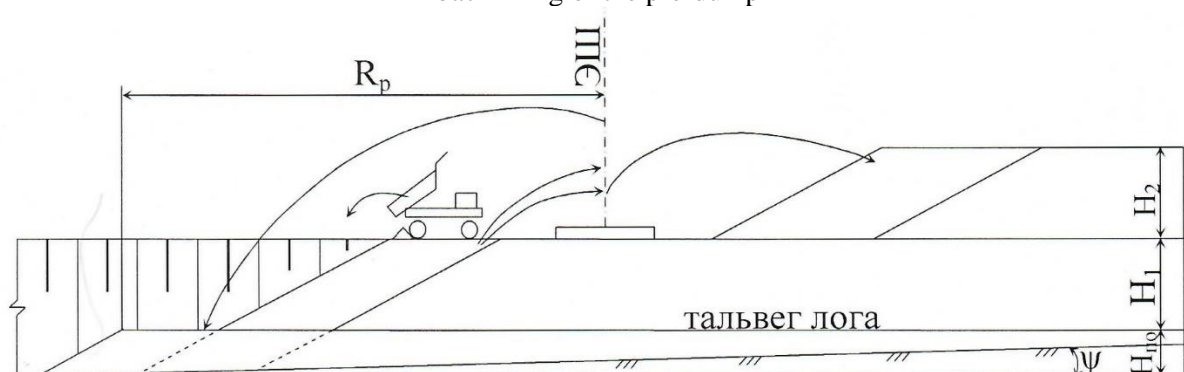


Рис. 10. Схема двухъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на обводненных логах с отсыпкой предотвала драглайном

Fig. 10. Scheme of two-tier bulldozer-excavator dumping on watered ravines with draglines backfilling the pre-dump

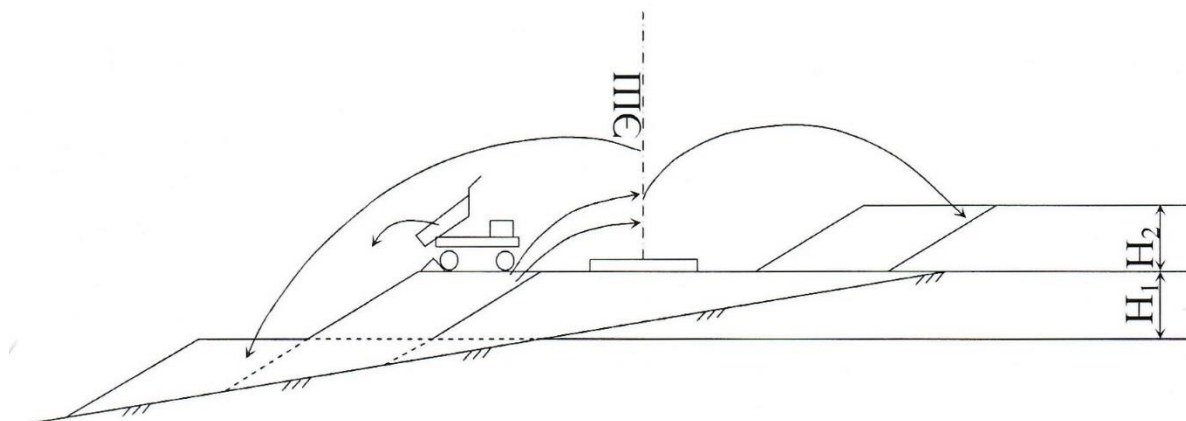


Рис. 11. Схема двухъярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования на обводненных склонах с отсыпкой предотвала драглайном

Fig. 11. Scheme of two-tier bulldozer-excavator dumping on watered slopes with draglines backfilling the pre-dump

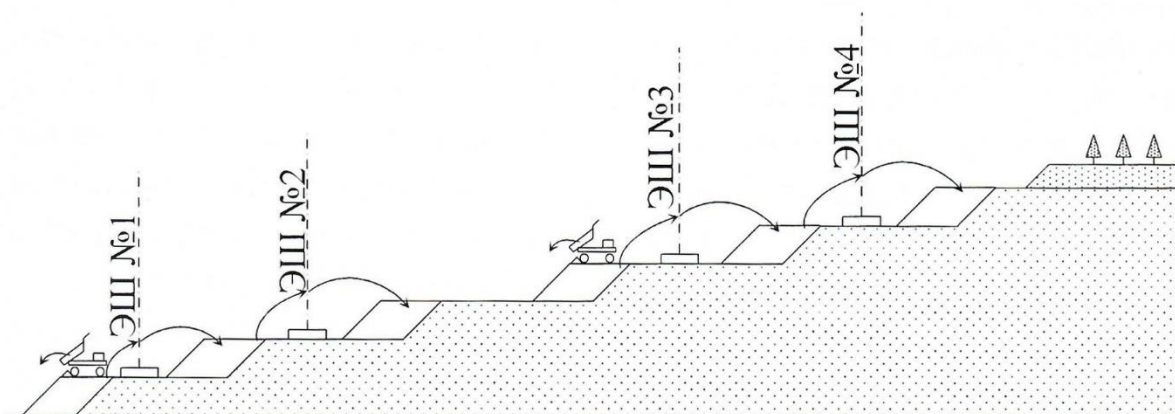


Рис. 12. Схема внешнего группового бульдозерно-экскаваторного многоярусного отвала на устойчивом основании

Figure 12. Scheme of external group bulldozer and excavator multi-tier dump on a stable foundation

Как показала практика, укладка породы на площадях старых гидроотвалов возможна и безопасна при соответствующей организации процесса отвалообразования. Так, в [15] при отсыпке пород на гидроотвалы рассматриваются две задачи:

- ✓ укладка сухих пород не должна допускать растекания пульпы гидроотвала за пределы занятой им площади;
- ✓ необходимо обеспечить спокойное погружение твердых неразмокаемых пород в полужидкую среду пульпы гидроотвала.

Первая задача решается путем возведения вокруг гидроотвала новой ограждающей дамбы из неразмокаемых пород. Высота ограждения в течение всего времени отсыпки отвала должна быть выше уровня жидкой или полужидкой пульпы.

Вторая задача решается подбором таких поперечных профилей откосов, при которых исключаются резкие обрушения и просадки пород под работающими на отвалах механизмами.

Обе задачи наиболее полно и оперативно могут быть решены путем моделирования и, в частности, центробежного моделирования с использованием натуральных материалов – пород вскрыши и пульпы. Еще в 1970-1976 гг. на одной из крупнейших в СССР центробежной установке институтом УкрНИИпроект при участии института «Сибгипрошахт» проводились исследования по отсыпке сухих пород на гидроотвалы Кузбасса: Притомский Красногорского разреза, Сагарлыкский разреза им. 50-летия Октября (позже «Бачатский»), Новобачатский разреза «Краснобродский».



В процессе моделирования определялись:

- ✓ характер и глубина внедрения «сухого» отвала в пульпу;
- ✓ минимальный угол устойчивого откоса отвала;
- ✓ угол отпора пульпы;
- ✓ длина и высота оползневого «языка»;
- ✓ ширина опасной зоны трещинообразования на отвале;
- ✓ изменение физико-механических характеристик пульпы в процессе ее нагружения «сухими» отвалами.

Для построения модели использовались натурные материалы – пульпа из пляжной зоны гидроотвала и зоны мелкого отстоя и смесь коренных пород в соответствующей пропорции из пород вскрыши разрезов.

На основании результатов исследований рекомендуется:

- ✓ на гидроотвалах глубиной свыше 10 м основным способом отвалообразования считать экскаваторный, который наиболее полно отвечает условиям безопасной отсыпки;
- ✓ применять шагающие экскаваторы с длиной стрелы порядка 50-60 м, но не менее величины размеров опасной зоны трещинообразования для данной глубины гидроотвала;
- ✓ высоту первого яруса «сухого» отвала рекомендуется принимать 20 м, а шаг заходки – 24 м;
- ✓ при глубинах гидроотвалов до 5-10 м следует применять при отсыпке первого и последующих ярусов отвала бульдозерный способ.

Большое разнообразие горно-геологических условий угольных месторождений, разрабатываемых открытым способом, предопределяет возникновение на разрезах различных видов деформаций отвалов, которые отличаются друг от друга как формой, так и механизмом проявления. От вида деформации отвалов зависит в первую очередь надежность и правильность выбора методов изучения физико-механических и деформационных свойств отвальных пород и пород основания отвалов.

В 1997 г. кафедрой геологии Московского горного института были проведены исследования на гидроотвале «Южный» с целью определения степени уплотнения намывных слоев и характеристик сопротивления сдвигу породных масс в пределах различных зон. Исследования позволили оценить несущую способность намывных тонкодисперсных масс и выделить в вертикальном разрезе намывной толщи три слоя:

1. Корка высыхания ($h = 0,1$ м);
2. Подкорковый слой с консистенцией, близкой к текуче-пластичной ($h = 3-4$ м);
3. Основной слой с мягкопластичной консистенцией ($h = 9$ м).

Рядом авторов рассмотрена возможность использования гидроотвалов Зыряновского карьера для повторного образования отвалов скальных пород, а также проблемы, возникающие при отвалообразовании на площадь гидроотвалов; характер деформаций гидроотвала, возникающих в процессе засыпки его скальной породы.

В результате исследований было выяснено, что складирование скальных пород на гидроотвалах возможно при правильном обосновании высоты отсыпки с учетом несущей способности основания гидроотвалов и устойчивости дамб обвалования.

Основная проблема, с которой приходится сталкиваться на Зыряновском карьере, заключается в том, что вторичное заполнение гидроотвалов скальной вскрышей связано с риском разрушения дамб и выдавливания налитых грунтов за пределы гидроотвалов, что может повлечь перекрытие реки Березовки.

Отсыпка пород производилась очень осторожно, небольшими очередями с промежутками во времени. За период с 1965 г. в гидроотвалах размещено более 9 млн м³ вскрышных пород.

При исследовании характера деформаций было выявлено, что основной причиной их возникновения является обводнение основания отвала и отвальных масс.

В работах [36-38], выполненных институтом ВНИМИ в 1975-1976 гг., излагаются горно-геологические условия, методика и результаты расчета устойчивости гидроотвала №4 Киселевского разреза, Бековского, Западного и Сагарлыкского гидроотвалов разреза им.



50-летия Октября (Бачатского). Показаны основные расчетные схемы устойчивости откосов и результаты расчетов. По данным проведенных исследований установлены параметры отвалов на гидроотвале и дается последовательность отвалообразования, обеспечивающая безопасность и технико-экономическую эффективность отвальных работ, определяется круг необходимых инженерных мероприятий.

В частности, при отсыпке «сухих» пород на Сагарлыкский гидроотвал рекомендуется:

- ✓ по условиям устойчивости упорных призм на пляже гидроотвала и в зоне пруда-отстойника можно разместить три яруса отвалов «сухих» пород общей высотой 60 м;
- ✓ результирующий угол откоса гидроотвала, нагруженного отвалами, не должен превышать 20° в центральной части гидроотвала и 16° в районе пруда-отстойника и в местах, где отмечены слабые породы в основании сооружений;
- ✓ на участках примыкания отложений пруда-отстойника к естественным повышениям рельефа отвалообразование необходимо начинать с создания контрфорса шириной по низу 50 м и высотой 20 м на породах естественного основания гидроотвала;
- ✓ отвальные работы могут вестись с применением автотранспорта и бульдозера или железнодорожного транспорта и экскаватора-драглайна;
- ✓ для обеспечения безопасности работ необходимы постоянные инструментальные наблюдения за развитием деформаций отсыпаемого яруса и последовательным на этой основе переносом работ на те участки, деформации которых прекратились.

Использование старых гидроотвалов для размещения отвалов коренных пород приобретает, особенно в Кузбассе, все большую актуальность в связи с отсутствием вблизи разрезов свободных площадей. Еще в 1977 году институтом Сибгипрошахт на основе рекомендаций УкрНИИПроект разработан проект размещения отвалов коренных пород на Сагарлыкском гидроотвале: на площади 675 га предполагалось разместить более 300 млн м^3 вскрышных пород.

В проекте рассмотрены три схемы отвалообразования с применением экскаваторов ЭШ-10/60, ЭШ-13/50, бульдозера Д-572 при транспортировании породы автосамосвалами БелАЗ-549.

Краткий обзор научно-исследовательских и проектных работ, выполненных для разрезов Кузбасса по отсыпке «сухих» пород на площадях старых гидроотвалов, позволяет сделать выводы:

1. В настоящее время достаточно полно исследованы физико-механические свойства грунтов основания гидроотвалов, пляжа, отвалов «сухих» пород, инженерно-геологическая характеристика которых используется при расчетах устойчивости дамб гидроотвалов, высоты яруса отвального уступа и т.д.

2. Намытый в прошедшие годы гидроотвал как массив, на котором должен отсыпаться отвал «сухих» пород, для производителей и специалистов представляется неопределенным по его несущим способностям.

3. Научно-обобщенного систематизированного опыта отсыпки пород на гидроотвалы до сих пор нет несмотря на то, что отвалообразование ведется на многих гидроотвалах.

4. Необходимо проводить постоянные инструментальные наблюдения за поведением отвала при отсыпке его ярусами различной высоты, при разной мощности пульпы и физико-механических свойствах складированных пород. Накопленные материалы позволят обобщить опыт отвалообразования на гидроотвалах и разработать безопасную технологию ведения отвальных работ.

Принятая в работе [11] схема отвалообразования на гидроотвал предусматривает использование экскаватора ЭШ 10/60 с устройством приямка на поверхности отвального уступа. Разгруженная из автосамосвалов порода по фронту приямка экскавируется в отвальную заходку (рис. 13).

При ширине заходки 21 м, длине фронта разгрузки 50 м и высоте яруса 20 м с учетом заглубления в пульпу отвальной заходки в среднем на 73-74% первоначальной мощности пульпы общий объем складированной породы с одной стоянки составит 50,4 тыс. м^3 .

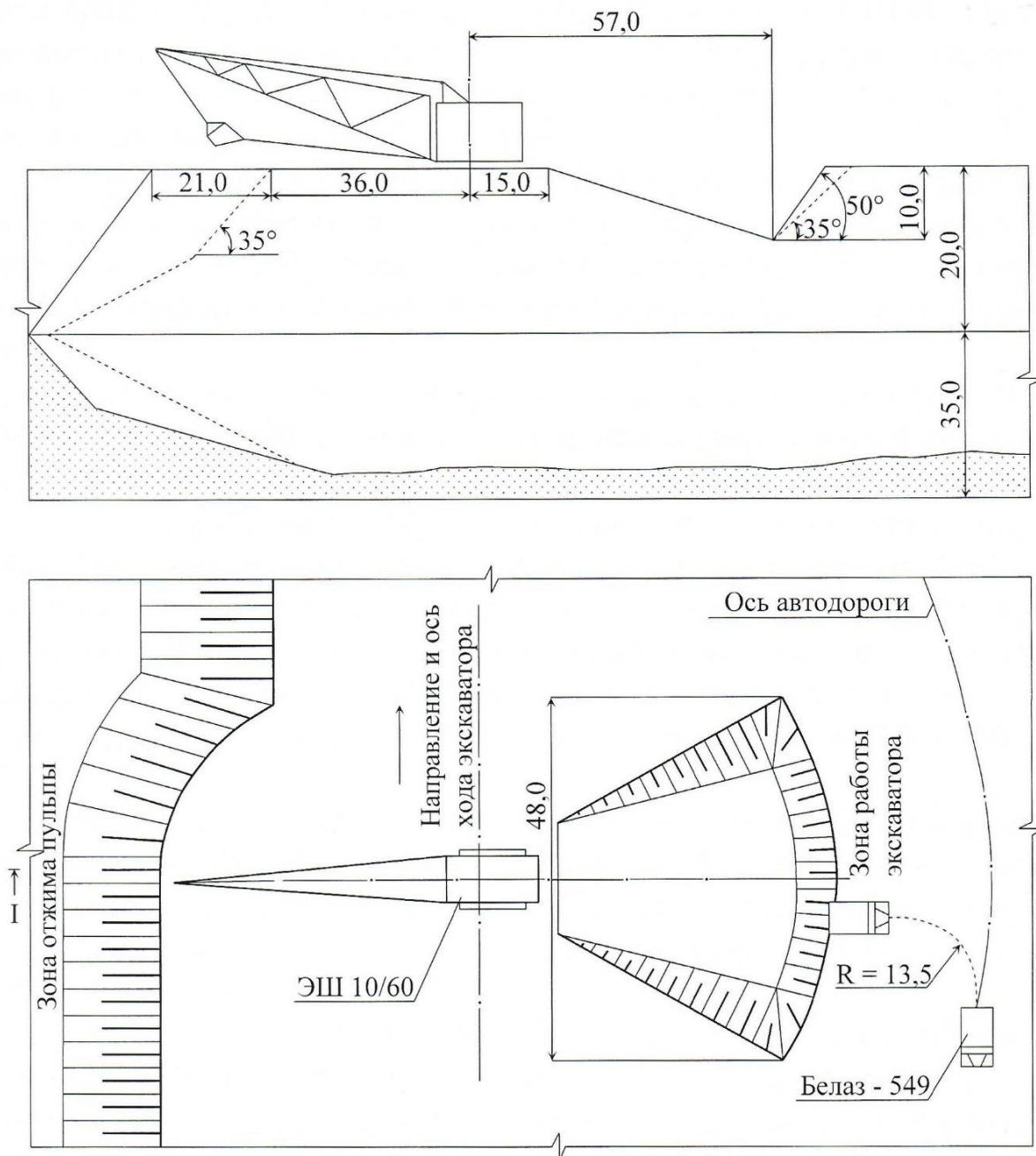


Рис. 13. Схема переэкскавации вскрышных пород из приямка в гидроотвал драглайном
Fig. 13. Scheme of overburden re-excavation from the pit to the hydraulic dump by a dragline

С учетом суточной производительности экскаватора ЭШ-10/60, равной 7600 м³, время работы экскаватора с одной стоянки составит 6-7 суток. Ввиду непродолжительного времени необходимость устройства полустационарной разгрузочной площадки с жестким упором отпадает. Для предотвращения падения автосамосвалов в приямок устраивается предохранительный вал из породы размером по высоте 1,3 м и шириной по подошве 2,7 м для автосамосвала БелАЗ-549 (грузоподъемность 75 т) и соответственно 1,7 и 3,6 м для автосамосвала грузоподъемностью 180 т [11].

Исследования, проведенные при транспортировании породы самосвалами различной грузоподъемности [10], показывают, что линейные параметры экскаватора-драглайна ЭШ-10/60 обеспечивают длину разгрузочной площадки, достаточную для безопасной работы автосамосвалов.



Аккумулирующее приемное устройство является необходимым условием нормальной работы системы «автосамосвал-экскаватор». Геометрические размеры его определяются характером грузопотока и производительностью драглайна.

Расчет производительности драглайна ЭШ-10/60 на отвалообразовании показывает, что при существующих объемах горной массы, поступающей на Сагарлыкский отвал (4 млн м³/год), необходимо иметь два экскаватора.

С учетом характера грузопотока максимальное значение объемов вскрыши, поступающее к каждому экскаватору, составляет 380 м³/ч, что вполне обеспечивается производительностью драглайна (397 м³/ч).

Для обеспечения нормальной работы автосамосвалов при непродолжительной остановке экскаватора емкость аккумулирующего приемного устройства должна быть равна $0,3Q_{см}$, где $Q_{см}$ – сменная производительность экскаватора.

Разгрузочная площадка характеризуется шириной, которая определяет возможность подъезда и разворота автосамосвалов перед установкой их на погрузку, и длиной, которая определяет возможность свободного размещения автосамосвалов.

Из условия обеспечения маневров самосвалов и установки их под разгрузку длина разгрузочной площадки определится как

$$l_{p.n} = N \cdot Ш_a + c_a \cdot (N - 1), \text{ м}, \quad (1)$$

где N – количество одновременно разгружающихся автосамосвалов, ед.; $Ш_a$ – ширина автосамосвала, м; c_a – безопасное расстояние между автосамосвалами, м.

Ширина разгрузочной площадки:

$$b_{p.n} = l_a + c_a + R_a, \text{ м}, \quad (2)$$

где l_a – длина автосамосвала, м; R_a – радиус поворота автосамосвала, м.

Рассчитанные по формулам (1) и (2) длина и ширина разгрузочной площадки с учетом максимальной интенсивности поступления объемов вскрыши составят: $l_{p.n} = 48$ м; $b_{p.n} = 37$ м при высоте приямка, равной 10 м.

Фронт работы по приямку по условиям обеспечения безопасности совместной работы экскаватора и автосамосвалов разделен на два участка: на одном ведутся экскаваторные работы, на другом разгружаются автосамосвалы.

Отсыпка «сухих» отвалов на Сагарлыкском гидроотвале осуществляется последовательно: экскаватор ЭШ-10/60 экскавирует породу из приямка в отвальную заходку шириной 21 м, причем сам экскаватор удален от верхней бровки отвала не менее чем на 36 м [8].

После отсыпки 50,4 тыс. м³ вскрыши экскаватор переходит на новую стоянку на расстояние, равное 50 м. В зоне первой отсыпки начинаются интенсивные деформации, затухание которых наступает через 20 суток. В это время экскаватор будет находиться от первой отсыпки на расстоянии 150 м.

Для подготовки перехода экскаватора на следующую позицию в зонах первой, второй и последующих отсыпок первого прохода осуществляется пригрузка осевшей части отвала на высоту просадки. Пригрузка ведется непосредственно разгрузкой автосамосвалов на просевшую часть заходки. Отсыпанную породу планирует бульдозер, подготавливая одновременно трассу для второго прохода экскаватора.

В 1974 году горным инженером В. И. Тимошиным [5] на разрезе «Междуреченский» был осуществлен в промышленных масштабах эксперимент по использованию экскаватора ЭШ-10/60 на приеме вскрыши, доставляемой 27- и 40-тонными автосамосвалами (рис. 14), по итогам которого была защищена кандидатская диссертация [2].

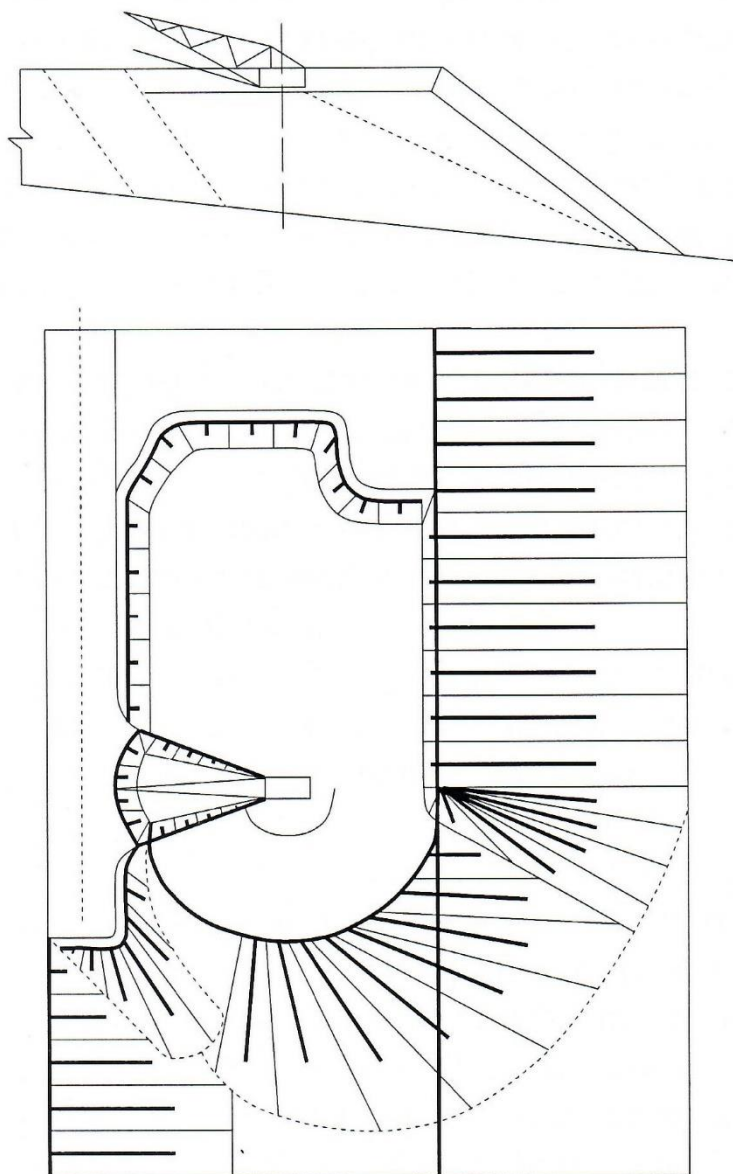


Рис. 14. Схема отвалообразования на косогоре с применением драглайна и автотранспорта
Fig. 14. Scheme of dumping on the slope with the use of a dragline and motor transport

На базе этого эксперимента были разработаны схемы, расчетные положения и методика применения шагающих драглайнов в качестве отвалообразователей в различных условиях горнотехнической обстановки. В результате представилось целесообразным эффективно решить вопросы грузотранспортной связи между вскрышными и отвальными горизонтами по кратчайшему расстоянию. Это в конечном счете привело к сокращению расчетного количества действующих автосамосвалов, повышению эффективности их пользования. Направление и величина отдельных грузопотоков позволили определить годовую производительность драглайнов, а условия складирования вскрышных пород в отвалы – их линейные параметры.

Рост объемов вскрыши при транспортной технологии ведения работ, повышение эффективности производства за счет увеличения мощности горного оборудования и транспортных средств предъявляют особые требования к вопросам дальнейшего совершенствования существующих технологических схем горных предприятий и улучшения использования технических средств.



Специфические условия месторождения Кузбасса заключаются в резко пересеченном рельефе поверхности с наличием глубоких логов с крутыми склонами и слабыми подстилающими породами небольшой мощности. Географическое положение отвалов относительно полей разрезов, абсолютные высотные отметки логов вызывают необходимость организации складирования вскрыши с горизонтов нескольких разрезов, что требует создания концентрированных, высокопроизводительных пунктов приема вскрыши. Бульдозерное отвалообразование в логах, имеющих значительные перепады при небольшой высоте яруса отвала в этих условиях, ведет к деконцентрации отвальных работ, большую переработку самосвалов – особенно в начальный период эксплуатации.

При увеличении грузоподъемности транспортных средств расходы на строительство и поддержание временных автомобильных дорог, имеющих в этих условиях незначительный срок службы, могут оказать решающее влияние на выбор грузоподъемности транспортных средств и явиться сдерживающим фактором увеличения производительности.

Качественный анализ отвалообразующих механизмов показывает, что в условиях сложного рельефа поверхности наилучшими показателями при отвалообразовании обладают шагающие экскаваторы.

Кроме этого, в условиях Кузбасса в настоящее время рядом с разрезами находится значительное количество площадей (более 20 тыс. га – старые гидроотвалы и русла рек, заболоченные озера и пр.), которые не используются под отвалы из-за отсутствия надежных, безопасных способов отвалообразования. В то же время под отвалы вскрышных пород, доставляемых средствами автотранспорта, только в масштабах АО «УК «Кузбассразрезуголь» занимается ежегодно более 200 га сельскохозяйственных угодий, на восстановление которых расходуются миллионы рублей.

Применение шагающих драглайнов на отвалообразовании в этих условиях позволит создать безопасные условия работы самосвалов в отвальной зоне и получит значительный экономический эффект.

Характерной особенностью технологических схем драглайнового отвалообразования является существенная зависимость их формирования от параметров отвальных экскаваторов, места установки драглайна, размеров приемных устройств, зон разгрузки, а также рельефа поверхности и физико-механических свойств подстилающих и складированных горных пород.

Следует различать схемы с верхней и нижней отсыпкой отвала при повороте стрелы отвального экскаватора на угол до 180°. Драглайн при этом может располагаться на уровне транспортного горизонта, выше или ниже его.

В качестве основной можно считать схему с отсыпкой породы в нижний ярус при расположении экскаватора на уровне или ниже транспортного горизонта. Поскольку заполняемые емкости характеризуются изменяющимися параметрами, первоначальная высота яруса может быть не очень большой, а затем достигать максимальной величины.

Схемы экскаваторного отвалообразования могут претерпевать определенные изменения по мере развития отвала. В частности, может измениться место расположения экскаватора при неизменном положении транспортного горизонта.

Первоначально с использованием бульдозера или непосредственно экскаватором отсыпается площадка, на которой экскаватор может располагаться вблизи автомобильной дороги (разгрузочной площадки) и размещать горную массу ниже транспортного горизонта. По мере отсыпки отвала драглайн перемещается от автодороги на расстояние, равное радиусу черпания, и продолжает засыпать емкость ниже уровня стояния с полным использованием своих разгрузочных параметров.

По мере дальнейшего передвижения экскаватора вдоль фронта отвальных работ высота яруса может достигнуть предельной величины по условию устойчивости (для конкретной марки драглайна). Увеличение высоты нижнего яруса может быть обеспечено понижением уровня стояния драглайна по отношению к транспортному горизонту на глубину, позволяющую убирать вскрышную породу из приемного устройства верхним черпанием. При этом верхний подступ нижнего яруса отвала может заполняться экскаватором с верхней разгрузкой до уровня транспортного горизонта или использоваться для бульдозерного отвалообразования. Небольшая



высота верхнего подступа обеспечивает безопасные условия работы, а его заполнение при использовании бульдозеров может производиться с отставанием не менее 1,5 радиуса разгрузки экскаватора.

После заполнения нижнего яруса экскаватор может быть установлен выше транспортного горизонта для заполнения емкости верхнего яруса. Транспортирование вскрыши осуществляется по той же автомобильной дороге, заполнение верхнего яруса может производиться как с отставанием на одну заходку, так и непосредственно в данной заходке с ликвидацией автодороги в отступающем порядке. При заполнении емкости выше транспортного горизонта драглайн размещается на промежуточном подступе выше автомобильной дороги (с учетом глубины черпания экскаватора) и производит засыпку на полные параметры по высоте (с учетом устойчивости верхнего яруса) и радиусу разгрузки.

В случаях заполнения глубоких логов с неустойчивыми крутыми склонами, складирования пород в поймы рек и озер, заполнения емкости старых гидроотвалов разгрузочную площадку следует размещать за пределами оползневых явлений. Это возможно выполнить расположением экскаваторной заходки при движении экскаватора вокруг автомобильной дороги.

Разработка технологии многоярусного отвалообразования при автомобильном транспорте

На основании анализа технологий отвалообразования с применением автомобильного транспорта на карьерах и структурных технологических схем многоярусного отвалообразования в данной части работы представлены перспективные схемы отвалообразования для условий разрезов АО «УК «Кузбассразрезуголь». В этих схемах в качестве отвалообразователей приняты бульдозеры, шагающие экскаваторы, мехлопаты и вибрационные комплексы конструкции ИГД СО РАН. Применение предлагаемых отвалообразователей позволяет охватить все многообразие условий формирования многоярусных отвалов при повышении эффективности отвальных работ.

Данная часть статьи приводит методические положения по определению основных параметров технологических схем многоярусного отвалообразования с установлением взаимосвязей суммарной производительности бульдозерных отвалообразователей от производительности экскаваторных отвалообразователей.

В предлагаемых технологических схемах реализуются экскавационные и транспортные функции экскаваторных отвалообразователей, что позволяет сократить количество автосамосвалов, занятых на транспортировании вскрышных пород из забоя на отвал.

Применение схем многоярусного отвалообразования, кроме этого, позволяет существенно снизить землеемкость и, следовательно, потребность в земельных отводах под внешние отвалы.

Методические положения по определению параметров технологических схем многоярусного отвалообразования

Основными параметрами технологических схем многоярусного отвалообразования являются:

- ✓ количество ярусов;
- ✓ высота ярусов;
- ✓ ширина отвальной заходки;
- ✓ ширина отвальной площадки;
- ✓ ширина и высота предотвала при отсыпке пород на гидроотвал.

Основными требованиями к технологическим схемам многоярусного отвалообразования являются обеспечение безопасности ведения отвальных работ и ритмичности подвигания отвальных фронтов по ярусам.

Безопасность отвалообразования обеспечивается соблюдением установленных нормативов по размещению горного оборудования на отдельных рабочих площадках, формированием предохранительных породных валов и другими мероприятиями, перечисленными ранее.

Условия ритмичности подвигания отвальных фронтов по ярусам обеспечиваются равенством скоростей их подвигания.

При двухъярусном отвалообразовании на горизонтальном устойчивом основании с применением бульдозеров и драглайнов в качестве отвалообразователей эти условия рассчитываются следующим образом (рис. 15):

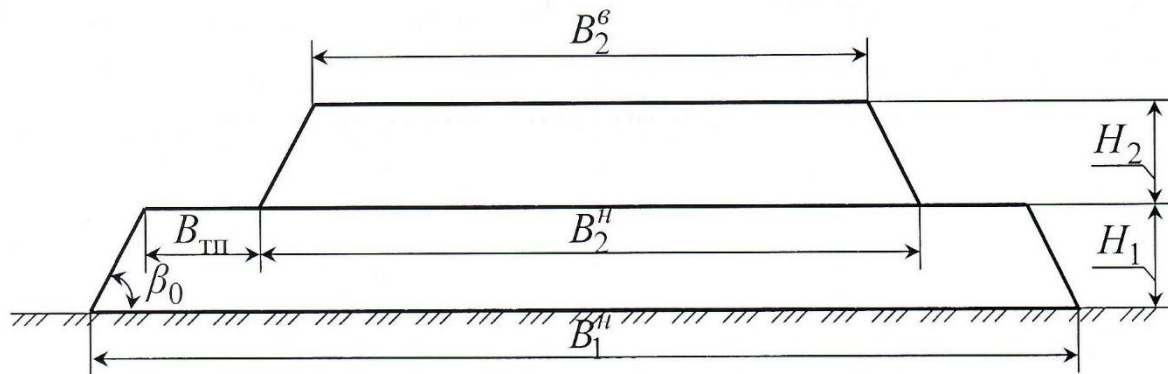


Рис. 15. Схема к расчету ритмичности отвалообразования на устойчивом основании бульдозерно-экскаваторным комплексом

Fig. 15. Scheme for calculating the rhythmicity of dumping on a stable foundation by bulldozer and excavator complex

Ритмичность работы отвалообразователя на двухъярусном бульдозерно-экскаваторном отвале определяется условием

$$V_{оф1} = V_{оф2}, \quad (3)$$

где $V_{оф1}$ и $V_{оф2}$ – скорости подвигания отвального фронта работ на нижнем и верхнем ярусе соответственно, м/ч:

$$V_{оф1} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y}{S_1}, \quad (4)$$

$$V_{оф2} = \frac{Q_{ЭШ}^y}{S_2}, \quad (5)$$

где S_1 , S_2 – площадь поперечного сечения соответственно первого и второго яруса отвала, м²; $\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y$ – суммарная производительность бульдозеров на отвалообразовании, м³/ч; $Q_{ЭШ}^y$ – часовая производительность драглайна, м³/ч.

$$\begin{aligned} S_1 &= H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0), \\ S_2 &= H_2 (B_2'' - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \end{aligned} \quad (6)$$

где B_1'' , B_2'' – ширина соответственно нижнего и верхнего яруса по низу, м; H_1 , H_2 – высота соответственно нижнего и верхнего яруса, м; β_0 – угол отвального яруса, градус;

$$B_2'' = B_1'' - (2B_{тп} + H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 + H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (7)$$



где $B_{\text{тп}}$ – ширина транспортной полосы отвала, м ($B_{\text{тп}} = 30$ м); B_1^s – ширина нижнего яруса по верху, м:

$$B_1^s = B_1'' - 2 \cdot H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0. \quad (8)$$

Тогда выражение (3) примет вид

$$\frac{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0)}{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q} = \frac{H_2 [B_1^s - (2B_{\text{тп}} + H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 + H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0) - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0]}{Q_{\text{эш}}}. \quad (9)$$

Поэтому часовая среднеэксплуатационная производительность бульдозерных отвалообразователей в зависимости от часовой производительности принятого драглайна должна быть следующей:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q &= \frac{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) Q_{\text{эш}}}{H_2 [B_1^s - (2B_{\text{тп}} + H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 + H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0) - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0]} = \\ &= \frac{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) Q_{\text{эш}}}{H_2 [B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} + \text{ctg } \beta_0 \cdot (H_1 + H_2) - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0]}. \end{aligned} \quad (10)$$

Рассмотрим пример.

$B_1'' = 2000$ м; $H_1 = 52$ м; $H_2 = 48$ м; $B_{\text{тп}} = 30$ м, $\beta_0 = 38^\circ$.

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q = \frac{52(2000 - 52 \cdot 1,28)1360}{48[2000 - 2 \cdot 52 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 + 1,28 \cdot (52 + 48) - 48 \cdot 1,28]} = \frac{136732876,8}{77637,12} = 1761,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем бульдозеры Т35.01 (мощность 520 л.с.).

Часовая производительность бульдозера:

$$Q_B^q = \frac{3600 \cdot V_{\text{оме}}}{T_y \cdot K_p} = \frac{3600 \cdot 10}{42 \cdot 1,35} = 635 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Необходимое количество бульдозеров:

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{Q_B^q} = \frac{1761,2}{635} = 2,77.$$

Принимаем к работе 3 бульдозера.

Далее строим график зависимости производительности бульдозерно-экскаваторного комплекса от ширины отвального фронта работ и от производительности шагающего экскаватора (рис. 16).

Ритмичность отвалообразования по ярусам при отсыпке отвала на гидроотвал обеспечивается при условии равенства скоростей подвигания отвальных фронтов по ярусам (рис. 17).

$$U_1 = U_2, \quad (11)$$

где U_1 и U_2 – скорость подвигания отвального фронта работ по нижнему (первому) и верхнему (второму) ярусу соответственно, м/ч:



$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u}{S_1 + S_0}, \quad (12)$$

где $\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u$ – суммарная производительность бульдозеров на отвалообразовании, м³/ч; S_1 – площадь поперечного сечения первого яруса отвала, м²; S_0 – площадь сечения предотвала по длине отвального фронта, м².

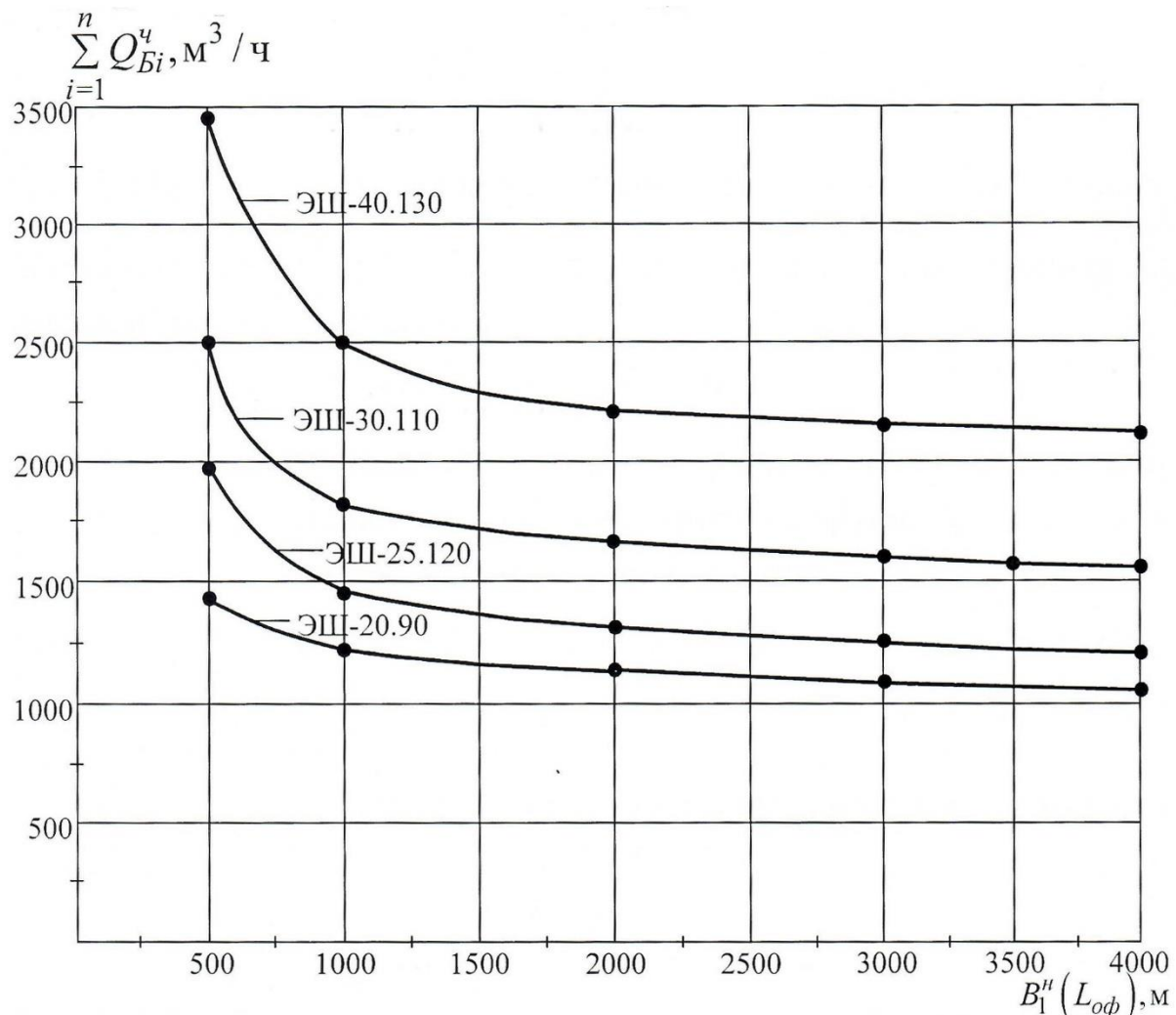


Рис. 16. График зависимости суммарной часовой производительности бульдозерных отвалообразователей $\left(\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u\right)$ от длины отвального фронта по нижнему ярусу (B_1'') и марки драглайна, отсыпаящего второй ярус отвала на устойчивом основании

Fig. 16. Diagram of the dependence of the total hour productivity of bulldozer dumpers $\left(\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u\right)$ on the length of the dump front on the lower tier (B_1'') and the model of a dragline dumping the second tier of the dump on a stable foundation



$$S_1 = H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0), \quad (13)$$

$$S_0 = h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \operatorname{ctg} \beta_0), \quad (14)$$

где b_n – ширина бермы на предотвале, м; h_{no} – высота предотвала, отсыпаемого драглайном, м.

$$U_2 = \frac{Q_{\text{ЭШ}}^y}{S_2}, \quad (15)$$

где $Q_{\text{ЭШ}}^y$ – часовая производительность драглайна, м³/ч; S_2 – площадь сечения отвального фронта на втором ярусе, м²:

$$S_2 = H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0), \quad (16)$$

где $B_{\text{тп}}$ – ширина транспортной площадки на поверхности нижнего яруса, м; H_2 – высота нижнего яруса, м.

Тогда

$$U_2 = \frac{Q_{\text{ЭШ}}^y}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)}. \quad (17)$$

Выражение (11) после этих преобразований примет следующий вид:

$$\frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y}{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)} = \frac{Q_{\text{ЭШ}}^y}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)}. \quad (18)$$

Следовательно, суммарная часовая производительность бульдозерных отвалообразователей определится как

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y = \frac{Q_{\text{ЭШ}}^y [H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)}. \quad (19)$$

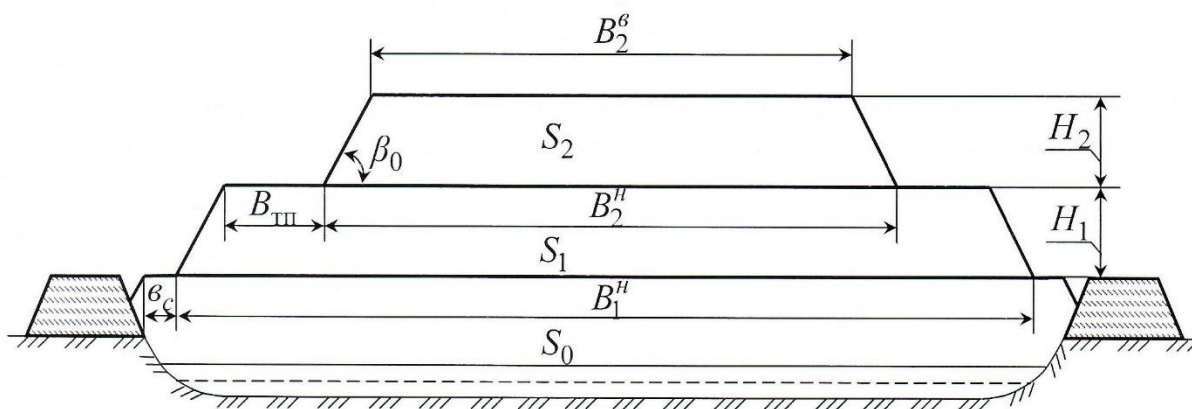


Рис. 17. Схема к расчету ритмичности отвалообразования на неустойчивое основание по ярусам

Fig. 17. Scheme for calculating the rhythmicity of dumping on an unstable foundation by tiers

Рассмотрим пример.

Драглайн-отвалообразователь: ЭШ 30.110; бульдозер: ДЗ-59ХЛ (Т-330).

Производительность драглайна $Q_{ЭШ}^u = 1300 \text{ м}^3/\text{ч}$; бульдозера $Q_B^u = 310 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при коэффициенте заваленности отвальной площадки, равном 0,7); $B_1'' = 2000 \text{ м}$; $H_1 = 52 \text{ м}$; $H_2 = 48 \text{ м}$; $h_{no} = 10 \text{ м}$; $B_{тп} = 30 \text{ м}$, $\beta_0 = 38^\circ$.

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u = \frac{Q_{ЭШ}^u \left[H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0) \right]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{тп} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)} =$$

$$= \frac{1360 \left[52(2000 - 52 \cdot 1,28) + 10(2000 + 2 \cdot 30 + 10 \cdot 1,28) \right]}{48(2000 - 2 \cdot 52 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 48 \cdot 1,28)} = \frac{164922956,8}{83781,12} = 1968,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для обеспечения часовой производительности по бульдозерному отвалообразованию потребуется следующее количество рабочих бульдозеров:

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u}{Q_B^u} = \frac{1968,5}{310} = 6,35.$$

Принимаем $N_B = 7$.

Ритмичность отвалообразования по ярусам трехъярусного отвала на устойчивом основании обосновывается следующим образом (рис. 18).

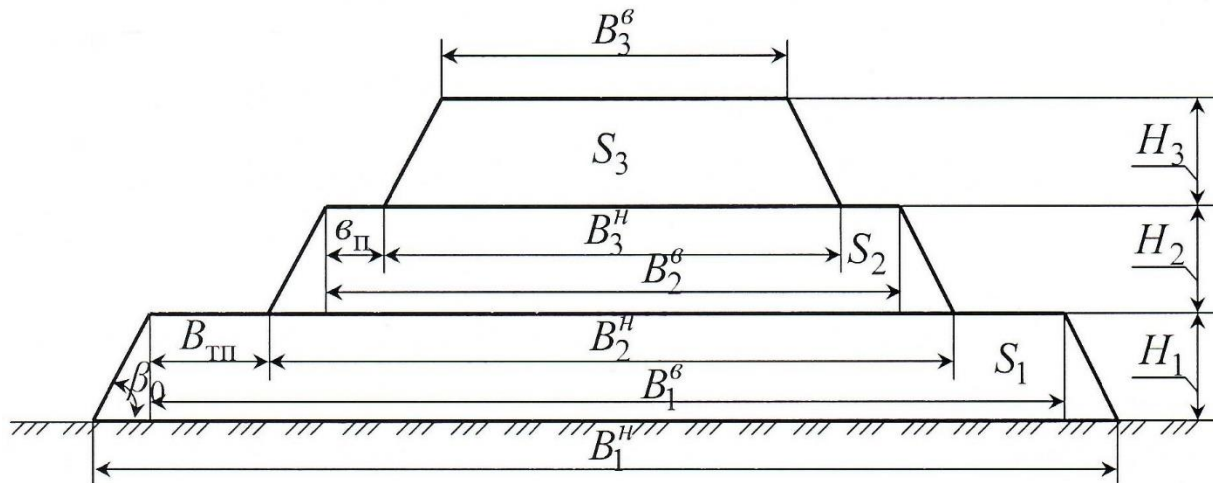


Рис. 18. Схема к расчету ритмичности трехъярусного отвалообразования по ярусам

Fig. 18. Scheme for calculating the rhythmicity of three-tier dumping by tiers

Условие ритмичности выражается равенством скоростей подвигания отвальных фронтов по ярусам отвала, т.е.

$$U_1 = U_2 = U_3, \quad (20)$$

где U_1 , U_2 и U_3 – скорость подвигания отвального фронта работ по нижнему (первому), среднему (второму) и верхнему (третьему) ярусу соответственно, м/ч:

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u}{S_1}, \quad (21)$$

$$U_2 = \frac{Q_{ЭШ1}^u}{S_2}, \quad (22)$$



$$U_3 = \frac{Q_{\text{ЭШ2}}^u}{S_3}, \quad (23)$$

где S_1 , S_2 и S_3 – площадь отвального фронта работ по нижнему (первому), среднему (второму) и верхнему (третьему) ярусам соответственно:

$$S_1 = H_1 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (24)$$

$$S_2 = H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (25)$$

$$S_3 = H_3 (B_3'' - 2H_3 \cdot \text{ctg } \beta_0). \quad (26)$$

С учетом того, что

$$B_3'' = B_2'' - 2b_n, \quad (27)$$

$$B_2'' = B_1'' - 2H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}}, \quad (28)$$

$$B_1'' = B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}}, \quad (29)$$

можем определить B_3'' .

$$\begin{aligned} B_3'' &= B_2'' - 2H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - 2b_n = B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - 2H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - 2b_n = \\ &= B_1'' - 2 \cdot \text{ctg } \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_n, \end{aligned} \quad (30)$$

$$S_3 = H_3 (B_1'' - 2 \cdot \text{ctg } \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_n - H_3 \cdot \text{ctg } \beta_0). \quad (31)$$

Приняв, что весь объем вскрыши, поступающей на трехъярусный отвал, разгружается сначала на первом (нижнем) ярусе, можно составить следующие равенства скоростей подвигания отвальных фронтов по ярусам:

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u}{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0)} &= \frac{Q_{\text{ЭШ1}}^u}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)} = \\ &= \frac{Q_{\text{ЭШ2}}^u}{H_3 (B_1'' - 2 \cdot \text{ctg } \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_n - H_3 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \end{aligned} \quad (32)$$

Но поскольку шагающие экскаваторы заняты на переэкскавации породы из нижнего яруса на вышележащие, то определяющим показателем является суммарная производительность бульдозерных отвалообразователей на нижнем ярусе.

Тогда

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u = \frac{H_1 \cdot (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) \cdot Q_{\text{ЭШ1}}^u}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (33)$$

При этом следует учитывать, что производительность шагающего драглайна ЭШ №1, занятого на первичной переэкскавации пород из первого яруса во второй, является определяющей (базовой) для драглайна ЭШ №2, переэкскавирующего часть объема пород второго яруса в третий.

Но так как площади поперечных сечений отвальных ярусов разные, то и объемы пород, укладываемые в отвал, будут разные.

Следовательно, производительность драглайнов тоже должна быть разной.

Тогда производительность драглайна ЭШ №2, переглавирующего часть породы из второго яруса в третий, составит

$$Q_{ЭШ2}^q = \frac{Q_{ЭШ1}^q \cdot H_3 \cdot [B_1'' - 2 \cdot \text{ctg } \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_{\text{п}} - H_3 \cdot \text{ctg } \beta_0]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (34)$$

Пример. Драглайн №1 – ЭШ 30.110.

Производительность драглайна $Q_{ЭШ1}^q = 1400 \text{ м}^3/\text{ч}$; $B_1'' = 2000 \text{ м}$; $H_1 = 50 \text{ м}$; $H_2 = 40 \text{ м}$; $H_3 = 30 \text{ м}$; $b_{\text{п}} = 10 \text{ м}$; $B_{\text{тп}} = 30 \text{ м}$, $\beta_0 = 38^\circ$.

$$Q_{ЭШ2}^q = \frac{1400 \cdot 30 \cdot [2000 - 2 \cdot 1,28(50 + 40) - 4 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 30 \cdot 1,28]}{40(2000 - 2 \cdot 50 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 40 \cdot 1,28)} = \frac{66830400}{70432} = 949 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Этой производительности соответствует драглайн ЭШ 20.90.

При этом суммарная производительность бульдозерных отвалообразователей, обеспечивающих формирование трехъярусного отвала, составит

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q = \frac{50 \cdot (2000 - 50 \cdot 1,28) \cdot 1400}{40(2000 - 2 \cdot 50 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 40 \cdot 1,28)} = \frac{135520000}{70432} = 1923 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При средней производительности бульдозера, равной $600 \text{ м}^3/\text{ч}$, их количество составит

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{Q_B^q} = \frac{1923}{600} = 3,2.$$

Принимается 3 бульдозера Т35.01.

Ритмичность отвалообразования по ярусам трехъярусного отвала на неустойчивом основании устанавливается, исходя из следующих положений (рис. 19).

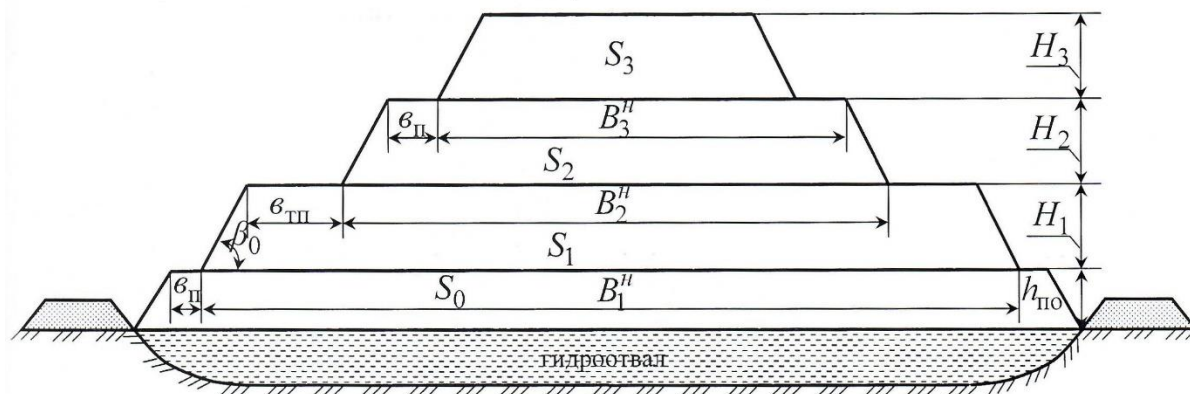


Рис. 19. Схема к расчету ритмичности трехъярусного отвалообразования по ярусам отвала на неустойчивом основании

Fig. 19. Scheme for calculating the rhythmicity of three-tier dumping by tiers of the dump on an unstable foundation

Условие ритмичности подвигания отвальных фронтов по ярусам выражается равенством

$$U_0 = U_1 = U_2 = U_3, \quad (35)$$

где U_0 – скорость подвигания предотвала, м/ч; U_1 , U_2 и U_3 – скорость подвигания отвального фронта работ по нижнему (первому), среднему (второму) и верхнему (третьему) ярусу соответственно, м/ч.



Принимая во внимание, что

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{S_0 + S_1}, \quad (36)$$

$$U_2 = U_0 = \frac{Q_{\text{эшл}}^q}{S_2}, \quad (37)$$

$$U_3 = \frac{Q_{\text{эшл}2}^q}{S_3}, \quad (38)$$

где S_1 , S_2 и S_3 – площадь отвального фронта работ по нижнему (первому), среднему (второму) и верхнему (третьему) ярусам соответственно, м² (см. формулы (24-26)); S_0 – площадь сечения отвального фронта по предотвалу, м² (см. формулу (14)).

Тогда

$$U_2 = \frac{Q_{\text{эшл}}^q}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{\text{но}} (B_1'' + 2b_n + h_{\text{но}} \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (39)$$

Но поскольку $U_2 = U_0 = U_1$, то

$$\frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{\text{но}} (B_1'' + 2b_n + h_{\text{но}} \cdot \text{ctg } \beta_0)} = \frac{Q_{\text{эшл}}^q}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (40)$$

Поэтому суммарная часовая производительность бульдозерных отвалообразователей на первом ярусе определится как

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q = \frac{Q_{\text{эшл}}^q [H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{\text{но}} (B_1'' + 2b_n + h_{\text{но}} \cdot \text{ctg } \beta_0)]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (41)$$

Рассмотрим пример.

Производительность драглайна $Q_{\text{эшл}}^q = 1400$ м³/ч; $B_1'' = 2000$ м; $H_1 = 50$ м; $H_2 = 40$ м; $H_3 = 30$ м; $b_n = 10$ м; $B_{\text{тп}} = 30$ м, $\beta_0 = 38^\circ$; $h_{\text{но}} = 10$ м.

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q = \frac{1400 [52 \cdot (2000 - 50 \cdot 1,28) + 10(2000 + 2 \cdot 30 + 10 \cdot 1,28)]}{40(2000 - 2 \cdot 50 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 40 \cdot 1,28)} = \frac{163060800}{70440} = 2314 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При средней производительности бульдозера $Q_{Bi}^q = 600$ м³/ч их количество на первом ярусе отвала составит

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{Q_B^q} = \frac{2314}{600} = 3,86.$$

Принимается 4 бульдозера.

Количество ярусов устанавливается в зависимости от требуемой емкости отвала и площади, отводимой под отвал.

Высота ярусов отвала, отсыпаемого на горизонтальное основание, определяется глубиной черпания драглайна и высотой разгрузки ковша.

Для схем отвалообразования на косогоре высота нижнего (первого) яруса, в принципе, не ограничивается, поскольку его отсыпка ведется драглайном или мехлопатой с нижней разгрузкой ковша, причем драглайн или мехлопата расположены в устойчивой зоне отвала.

Ширина отвальной заходки устанавливается в зависимости от радиуса черпания



$$A_o = R_q - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - b_o - 0,5B_o, \quad (42)$$

где R_q – радиус черпания драглайна, м; H_1 – высота нижнего яруса, м; B_o – диаметр опорной базы драглайна, м; b_o – берма безопасности, м:

$$b_o = H_1 \cdot (\operatorname{ctg} \beta_y - \operatorname{ctg} \beta_0), \quad (43)$$

где β_y – устойчивый угол откоса отвала, градус; β_0 – угол естественного откоса отвального яруса, градус.

При использовании в качестве отвалообразователя мехлопаты ширина отвальной заходки определяется по выражению

$$A_o = R_p^{\text{ЭКГ}} - 0,5B_{\text{ex}}, \quad (44)$$

где $R_p^{\text{ЭКГ}}$ – радиус разгрузки мехлопаты, м; B_{ex} – ширина гусеничного хода мехлопаты, м.

Ширина отвальной рабочей площадки для драглайнов определяется по выражению

$$III_{on} = A_o + b_o + 0,5B_o + R_k + c - h_{np} \cdot \operatorname{ctg} \beta_0, \quad (45)$$

где A_o – ширина отвальной заходки, м; b_o – берма безопасности, м; R_k – радиус вращения кузова драглайна, м; c – предохранительный зазор между кузовом драглайна и откосом яруса, м; h_{np} – высота просвета между днищем кузова драглайна и рабочей площадкой, м; β_0 – угол естественного откоса отвального яруса, градус.

При применении мехлопаты в качестве отвалообразователя ширина отвальной площадки определяется по формуле:

$$III_{on} = R_p^{\text{ЭКГ}} + R_k^{\text{ЭКГ}} + c - h_{np} \cdot \operatorname{ctg} \beta_0, \quad (46)$$

где $R_p^{\text{ЭКГ}}$ – радиус разгрузки ковша мехлопаты, м; $R_k^{\text{ЭКГ}}$ – радиус вращения кузова мехлопаты, м; c – предохранительный зазор между кузовом мехлопаты и откосом яруса, м; h_{np} – высота просвета между днищем кузова мехлопаты и рабочей площадкой, м (табл. 1).

Ширина предотвала при отсыпке отвала на старый гидроотвал определяется по выражению

$$B_{np} = R_p^{\text{ЭШ}} - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - b_o - 0,5B_o, \quad (47)$$

где $R_p^{\text{ЭШ}}$ – радиус разгрузки ковша драглайна, м; H_1 – высота нижнего (первого) отвального яруса, м; B_o – диаметр опорной базы драглайна, м; b_o – берма безопасности, м:

$$b_o = H_1 \cdot (\operatorname{ctg} \beta_y - \operatorname{ctg} \beta_0), \quad (48)$$

где β_y – устойчивый угол откоса отвала, градус; β_0 – угол естественного откоса отвального яруса, градус.

Высота многоярусного отвала устанавливается путем сопоставления затрат на отвалообразование экскаваторным и бульдозерно-автомобильным комплексом, т.е.

$$C_{mp} + C_{bo} = C_{\text{ЭШ}}, \quad (49)$$

где $C_{\text{тр}}$ – стоимость транспортирования 1 м³ вскрыши на расчетную высоту отвала, руб/м³; C_{bo} – стоимость бульдозерного отвалообразования, руб/м³; $C_{\text{ЭШ}}$ – стоимость экскаваторного отвалообразования, руб/м³:

$$C_{\text{ЭШ}} = \frac{S_{\text{мч}}^{\text{ЭШ}}}{Q_{\text{ЭШ}}^u} \cdot K_{\text{нэ}}, \quad (50)$$

где $S_{\text{мч}}^{\text{ЭШ}}$ – стоимость машино-часа работы драглайна, руб/ч; $Q_{\text{ЭШ}}^u$ – часовая производительность драглайна, м³/ч; $K_{\text{нэ}}$ – коэффициент переэкскавации.

Коэффициент переэкскавации, при котором $C_{mp} + C_{bo} = C_{\text{ЭШ}}$, является предельным (граничным), причем с увеличением высоты отвала затраты на отвалообразование бульдозерно-автомобильным и экскаваторным комплексом будут возрастать, но с разной интенсивностью, что и приводит к их равенству при достижении рациональной высоты многоярусного отвала.



Для этих целей устанавливается зависимость затрат на отвалообразование бульдозерно-автомобильным и экскаваторным комплексом от высоты отвала с построением графиков. Точка пересечения этих графиков и будет определять рациональную высоту отвала.

Таблица 1. Рабочие параметры рекомендуемых экскаваторных отвалообразователей для многоярусного бульдозерно-экскаваторного отвалообразования

Table 1. Working parameters of recommended excavator dumpers for multi-tier bulldozer-excavator dumping

Наименование параметров	Экскаваторы						
	ЭШ 20.90	ЭШ 25.120	ЭШ 30.110	ЭШ 40.130	ЭКГ-10	ЭКГ-12	ЭКГ-15
Вместимость ковша, м ³	20	20	30	40	10	12	15
Максимальный радиус копания, м	83,0	117,7	103,3	123,0	18,4	21,0	22,6
Максимальная глубина копания, м	42,5	57,0	53,0	60,0	–	–	–
Максимальная высота выгрузки ковша, м	38,5	53,4	48,2	56,0	–	–	–
Теоретическая производительность, м ³ /ч	965	1100	1360	1870	1170	1410	1640
Максимальная высота копания, м	–	–	–	–	13,5	15,0	16,6
Максимальный радиус разгрузки, м	–	–	–	–	16,3	18,5	20,0
Радиус вращения кузова, м	19,7	22,0	24,0	27,0	7,8	9,0	10,0
Диаметр опорной базы, м	14,5	18,0	18,0	23,5	–	–	–
Ширина гусеничного хода, м	–	–	–	–	7,0	8,0	9,5
Продолжительность цикла, с	60	60	60	60	26	26	28
Просвет под поворотной платформой, м	1,61	2,44	2,44	2,84	2,765	3,35	3,35

Выводы

На разрезах в основном применяются одноярусные внешние бульдозерные отвалы высотой 30-40 м с землеемкостью 2-3,5 га/млн м³ укладываемых вскрышных пород. В проектных решениях иногда закладываются многоярусные бульдозерные отвалы с заездами автотранспорта на каждый ярус, что приводит к снижению их вместимости.

При отсыпке отвала на неустойчивое основание (гидроотвал) формируется предотвал по площадной технологии, что ведет к росту объема бульдозерных работ. Повышение эффективности внешнего отвалообразования возможно за счет более полного использования площадей под отвалы с применением бестранспортной технологии перемещения пород в многоярусные отвалы.

Список литературы

1. Горная энциклопедия [Текст]: в 5 т. / Гл. ред. Е.А.Козловский. Ред. колл. М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Бондырев [и др.] – М.: Советская энциклопедия. Т4. – 1989. – 623 с.
2. Тимошин В.И. Исследование условий эффективного применения шагающих драглайнов на отвалах при автомобильном транспорте вскрышных пород (на примере разрезов Южного Кузбасса): автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: 1977. – 22 с.
3. Протасов А.И. Новая технология отвалообразования // Открытая угледобыча в Кузбассе. Опыт, проблемы, перспективы / К-т «Кемеровоуголь», Кузнецкий филиал НИИОГР. Кемерово: НИИОГР, 1976. – С. 210-214.



4. Александров Г.А., Протасов А.И. Эффективность применения драглайнов на автомобильных отвалах разреза «Сибиргинский» // Добыча угля открытым способом: Реф. сборник ЦНИИУголь. М.: 1974. – № 10. – С.3-5.
5. Новиков А.М., Тимошин В.И. Из опыта совершенствования автомобильного отвалообразования // Открытая угледобыча в Кузбассе. Опыт, проблемы, перспективы / К-т «Кемеровоуголь», Кузнецкий филиал НИИОГР. Кемерово: НИИОГР, 1976. – С. 215-223.
6. Мельников Н.Н. Теория и принципы механизации отвалообразования на карьерах // М.: Наука, 1968. – 108 с.
7. Русский И.И. Исследование технологии, механизации и организация отвалообразования на карьерах при колесном транспорте // Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М.: 1970. – 32 с.
8. Малеев Н.Г., Котровский М.Н. Схемы строительства и формирования многоярусных отвалов // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Сб. научных трудов. Вып. 1. // Красноярск: Изд-во КГУЦМиЗ. – 2003. – С. 140-144.
9. Русский И.И., Карельский В.А. Технология и организация отвалообразования с использованием мобильного оборудования // Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. М.: Недра, 1979. – С.89-92.
10. Молотиллов С. Г., Васильев Е. И., Кортелев О. Б., Норри В. К., Левенсон С.Я., Гендлина Л.И., Тишков А.Я. Интенсификация погрузочно-транспортных работ на карьерах. – Новосибирск: Издательство СО РАН. 2000.
11. Кортелев О. Б., Ческидов В. И., Молотиллов С. Г., Норри В. К. Внешнее отвалообразование на карьерах. – Новосибирск: РИЦ «Золотые слова», 2009.
12. Пат. на ПМ РФ № 88004. Вибрационный отвалообразователь / С. Я. Левенсон, Л. И. Гендлина, Ю. И. Еременко, А. В. Морозов, С. И. Протасов, В. А. Голдобин // Опубл. в БИ. – 2009. – № 30.
13. Кутепов, Ю.И. Закономерности формирования порового давления при гидроотвалообразовании и отсыпке «сухих» отвалов / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 11. – С. 212-220.
14. Кутепов, Ю.И. Обеспечение безопасности гидроотвалов при открытой добыче угля / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, В.В. Ермошкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 1. – С. 125-131.
15. Кутепов, Ю.И. Прогноз формоизменения намывных массивов гидроотвалов при складировании на них отвальных насыпей / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, М.А. Карасев, Ю.Ю. Кутепов // Горный журнал. – 2016. – № 12. – С. 23-27.
16. Кутепов, Ю.И. Геомеханическое обоснование отсыпки отвалов «сухих» пород на гидроотвалах / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, М.А. Карасев, Н.Г. Фоменко // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. – № 3. – С. 220-225.
17. Сергина, Е.В. Принципы организации и проведения мониторинга безопасности ПТС при открытой разработке угля на разрезе «Кедровский» в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 9. – С. 409-412.
18. Жариков В.П. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование эксплуатации и рекультивации гидроотвалов вскрышных пород Центрального Кузбасса : Дис. ... канд. техн. наук : М. – 2005. – 186 с.
19. Могилин, А.В. Инженерно-геологическое обоснование технологии формирования отвальных насыпей на гидроотвалах: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2002. – 181 с.
20. Саркисян, А.Х. Инженерно-геологическая оценка и обоснование параметров гидроотвалов на различных этапах существования (на примере гидроотвалов Кузбасса): дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004. – 182 с.
21. Сергина, Е.В. Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2015. – 165 с.
22. Фоменко, Н.Г. Инженерно-геологическое обоснование параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2016. – 171 с.
23. Черемхина, А.П. Оценка закономерностей изменения инженерно-геологических условий устойчивости гидроотвалов вскрышных пород в зависимости от этапа эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2014. – 201 с.
24. Демченко, А.В. Формирование дренажных элементов гидроотвалов разрезов Кузбасса для повышения их вместимости и устойчивости: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1999. – 147 с.



25. Ермошкин, В.В. Разработка методики геолого-маркшейдерского обеспечения безопасности гидроотвалов вскрышных пород (на примере гидроотвалов Кузбасса): дис. ... канд. техн. наук. – М., 2001. – 162 с.
26. Шпаков, П.С. Сравнительный анализ способов расчета предельных параметров откоса на слабом наклонном основании / П.С. Шпаков, М.В. Шпакова, В.Н. Долгонос, О.В. Старостина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 4. – С. 302-306.
27. Бахаева, С.П. Исследование гидрогеомеханических процессов техногенных массивов / С.П. Бахаева, С.И. Протасов, Е.В. Костюков, А.И. Федосеев, С.В. Практика // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2005. – № 3(47). – С. 41-43.
28. Гусев, В.Н. Прогноз безопасных условий разработки свиты угольных пластов под водными объектами на основе геомеханики техногенных водопроводящих трещин / Записки Горного института. – 2016. – С. 638-643.
29. Ермошкин, В. В. Опыт и проблемы гидроотвалообразования на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. Гидромеханизация. – Москва : МГГУ, 2006. – С. 281-286.
30. Зотеев, В.Г. Теоретические основы обеспечения устойчивости и формирования скальных откосов глубоких карьеров: дис. ... д.т.н.: 05.15.03 / В.Г. Зотеев. – Свердловск, 1981. – 403 с.
31. Зотеев, О.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород численными методами / О.В. Зотеев // Изв. вузов. Горный журнал. – 2003. – №5.
32. Мироненко, И. А. Принципы выбора вариантов технических решений для разработки и перемещения пород гидроотвала на новое место / И.А. Мироненко, С. И. Протасов // Вестник КузГТУ. – 2019. – № 1. – С. 59–65.
33. Лудзиш, В. С. Укладка наносов и коренных вскрышных пород в отвал / В. С. Лудзиш, Ю. В. Лесин, С. А. Прокопенко // Безопасность труда в промышленности. – Москва, 1986. – № 9. – С. 38-39.
34. Гальперин, А. М. Методы определения параметров отвалов и технологии отвалообразования на склонах / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Г. М. Еремин. – Москва : Горная книга, 2012. – 104 с.
35. Демченко, А. В. К вопросу обустройства отвалов вскрышных пород при добыче угля в Кузбассе / А. В. Демченко, И. В. Деревяшкин // Маркшейдерия и недропользование. – 2016. – №6(86). – С. 41-46.
36. Заключение о возможности наращивания плотины Бековского гидроотвала разреза имени 50-летия Октября: отчет о НИР / Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Фисенко Г.Л. – Л., ВНИМИ, 1988. – 83 с.
37. Заключение о состоянии устойчивости гидроотвала «Бековский» разреза им. 50-летия Октября в период завершения строительства дамбы наращивания №8: отчет о НИР / Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. – Л., ВНИМИ, 1990. – 76 с.
38. Исследовать условия устойчивости и обосновать оптимальные параметры гидроотвалов производственного объединения «Кемеровоуголь»: отчет о НИР / Крячко О.Ю., Ляхов В.Д. – Л., ВНИМИ, 1977. – 153 с.
39. Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Усольцев В. М. О формировании автомобильных отвалов при открытой разработке полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 50-54.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2023 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Колесников Валерий Федорович, д.т.н., проф.

e-mail: kvf.rmpio@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28



RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF MULTI-TIER DUMPS FORMATION BY MOTOR TRANSPORT IN OPEN PIT MINES

Valery F. Kolesnikov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:
22 October 2022

Revised:
25 December 2022

Accepted:
12 January 2023

Keywords: dumping, hydraulic dump, open-pit mining, multi-tier dump, motor transport, excavator and bulldozer complex

Abstract.

Dumping is one of the final processes of open-pit coal mining, the efficiency of which to a large extent depends on the reliability of the entire technological chain of the open pit. Currently, the majority of open pit mines in Kuzbass have single-level external bulldozer dumps up to 40 m high. As a result, the area of land disturbed by external dumps is about 40% of all areas disturbed in open-pit coal mining. The small height of Bulldozer dumps with motor transport is caused both by their stability and by the growth of operational costs on the transport component (increase in the length of transportation, fuel consumption, wear and tear of the dump truck, etc.). Reduction of these factors influence is possible at dumping multi-tier dumps formed by bulldozer-excavator complexes, and excavators which are a part of the complex should have an opportunity of bottom-digging (below the level of their position). In this case when backfilling the upper layers there is no need for dump trucks to reach them. Backfilling of rocks with their transportation by dump trucks is made only on the first bottom (base) tier by bulldozer. The excess volume of rocks from the first (base) tier is re-excavated to the overlying tiers by dragline excavators. This paper proposes the technology of external bulldozer-excavator multi-tier dumping in different conditions and substantiates the parameters of the dumps. Also, their effectiveness is evaluated by the criteria of specific land-use intensity of dumping.

For citation Kolesnikov V.F. (2023) Research and development of technology of multi-tier dumps formation by motor transport in open pit mines, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(20):40. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-1-40-70, EDN: YTLMSW

References

1. Gornaya entsiklopediya [Tekst]: v 5 t. / Gl. red. E.A. Kozlovskiy. Red. koll. M.I. Agoshkov, N.K. Baybakov, A.S. Bondyrev [i dr.] – M.: Sovetskaya entsiklopediya. T4. – 1989. – 623 s.
2. Timoshin V.I. Issledovanie usloviy effektivnogo primeneniya shagayushchikh draglaynov na otvalakh pri avtomobil'nom transporte vskryshnykh porod (na primere razrezov Yuzhnogo Kuzbassa): avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – M.: 1977. – 22 s.
3. Protasov A.I. Novaya tekhnologiya otvaloobrazovaniya// Otkrytaya ugledobycha v Kuzbasse. Opyt, problemy, perspektivy / K-t «Kemerovougol'», Kuznetskiy filial NIIOGR. Kemerovo: NIIOGR, 1976. – S. 210-214.
4. Aleksandrov G.A., Protasov A.I. Effektivnost' primeneniya draglaynov na avtomobil'nykh otvalakh razreza «Sibirginskiy»// Dobycha uglya otkrytym sposobom: Ref. sbornik TsNIEIUgol'. M.: 1974. – № 10. – S.3-5.
5. Novikov A.M., Timoshin V.I. Iz opyta sovershenstvovaniya avtomobil'nogo otvaloobrazovaniya// Otkrytaya ugledobycha v Kuzbasse. Opyt, problemy, perspektivy/ K-t «Kemerovougol'», Kuznetskiy filial NIIOGR. Kemerovo: NIIOGR, 1976. – S. 215-223.
6. Mel'nikov H.H. Teoriya i printsipy mekhanizatsii otvaloobrazovaniya na kar'erakh // M.: Nauka, 1968. – 108 s.
7. Russkiy I.I. Issledovanie tekhnologii, mekhanizatsii i organizatsiya otvaloobrazovaniya na kar'erakh pri kolesnom transporte // Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. – M.: 1970. – 32 s.



8. Maleev N.G., Kotrovskiy M.N. Skhemy stroitel'stva i formirovaniya mnogoyarusnykh otvalov // *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov. Sb. nauchnykh trudov. Vyp. 1.* // Krasnoyarsk: Izd-vo KGUTsMiZ. – 2003. – S. 140-144.
9. Russkiy I.I., Karel'skiy V.A. Tekhnologiya i organizatsiya otvaloobrazovaniya s ispol'zovaniem mobil'nogo oborudovaniya// *Tekhnologiya otval'nykh rabot i rekul'tivatsiya na kar'erakh.* M.: Nedra, 1979. - S.89-92.
10. Molotilov S. G., Vasil'ev E. I., Kortelev O. B., Norri V. K., Levenson S. Ya., Gendlina L.I., Tishkov A. Ya. Intensifikatsiya pogruzochno-transportnykh rabot na kar'erakh. – Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN. 2000.
11. Kortelev O. B., Cheskidov V. I., Molotilov S. G., Norri V. K. Vneshnee otvaloobrazovanie na kar'erakh. – Novosibirsk: RITs «Zolotyie slova», 2009.
12. Pat. na PM RF No 88004. Vibratsionnyy otvaloobrazovatel' / S. Ya. Levenson, L. I. Gendlina, Yu. I. Eremenko, A. V. Morozov, S. I. Protasov, V. A. Goldobin // *Opubl. v BI.* – 2009. – No 30.
13. Kutepov, Yu.I. Zakonomernosti formirovaniya porovogo davleniya pri gidrootvaloobrazovanii i otsypke «sukhikh» otvalov / Yu.I. Kutepov, N.A. Kutepova // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* – 2008. – № 11. – S. 212-220.
14. Kutepov, Yu.I. Obespechenie bezopasnosti gidrootvalov pri otkrytoy dobyche uglya / Yu.I. Kutepov, N.A. Kutepova, V.V. Ermoshkin // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* – 2007. – № 1. – S. 125-131.
15. Kutepov, Yu.I. Prognoz formoizmeneniya namyvnykh massivov gidrootvalov pri skladirovanii na nikh otval'nykh nasypey / Yu.I. Kutepov, N.A. Kutepova, M.A. Karasev, Yu.Yu. Kutepov // *Gornyy zhurnal.* – 2016. – № 12. – S. 23-27.
16. Kutepov, Yu.I. Geomekhanicheskoe obosnovanie otsypki otvalov «sukhikh» porod na gidrootvalakh / Yu.I. Kutepov, N.A. Kutepova, M.A. Karasev, N.G. Fomenko // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya.* – 2015. – № 3. – S. 220-225.
17. Sergina, E.V. Printsipy organizatsii i provedeniya monitoringa bezopasnosti PTS pri otkrytoy razrabotke uglya na razreze «Kedrovskiy» v Kuzbasse // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'.* – 2013. – № 9. – S. 409-412.
18. Zharikov, V.P. Inzhenerno-geologicheskoe i gidrogeologicheskoe obosnovanie ekspluatatsii i rekul'tivatsii gidrootvalov vskryshnykh porod Tsentral'nogo Kuzbassa: Dis. ...kand. tekhn. nauk: M. – 2005. – 186 s.
19. Mogilin, A.V. Inzhenerno-geologicheskoe obosnovanie tekhnologii formirovaniya otval'nykh nasypey na gidrootvalakh: dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 2002. – 181 s.
20. Sarkisyan, A.Kh. Inzhenerno-geologicheskaya otsenka i obosnovanie parametrov gidrootvalov na razlichnykh etapakh sushchestvovaniya (na primere gidrootvalov Kuzbassa): dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 2004. – 182 s.
21. Sergina, E.V. Kompleksnyy monitoring sostoyaniya prirodno-tekhnicheskikh sistem otkrytoy razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy: dis. ... kand. tekhn. nauk. – SPb., 2015. – 165 s.
22. Fomenko, N.G. Inzhenerno-geologicheskoe obosnovanie parametrov i tekhnologii otvaloobrazovaniya na gidrootvalakh pri vysokoy intensivnosti gornykh rabot: dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 2016. – 171 s.
23. Cheremkhina, A.P. Otsenka zakonomernostey izmeneniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy ustoychivosti gidrootvalov vskryshnykh porod v zavisimosti ot etapa ekspluatatsii: dis. ... kand. tekhn. nauk.. – SPb., 2014. – 201 s.
24. Demchenko, A.V. Formirovanie drenaznykh elementov gidrootvalov razrezov Kuzbassa dlya povysheniya ikh vmestimosti i ustoychivosti: dis. . kand. tekhn. nauk. – M., 1999. – 147 s.
25. Ermoshkin, V.V. Razrabotka metodiki geologo-marksheyderskogo obespecheniya bezopasnosti gidrootvalov vskryshnykh porod (na primere gidrootvalov Kuzbassa): dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 2001. – 162 s.
26. Shpakov, P.S. Sravnitel'nyy analiz sposobov rascheta predel'nykh parametrov otkosa na slabom naklonnom osnovanii / P.S. Shpakov, M.V. Shpakova, V.N. Dolgonosov, O.V. Starostina // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiiy zhurnal).* – 2010. – № 4. – S. 302-306.
27. Bakhaeva, S.P. Issledovanie gidrogeomekhanicheskikh protsessov tekhnogennykh massivov / S.P. Bakhaeva, S.I. Protasov, E.V. Kostyukov, A.I. Fedoseev, S.V. Praktika // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* – 2005. – № 3(47). – S. 41-43.
28. Gusev, V.N. Prognoz bezopasnykh usloviy razrabotki svity ugol'nykh plastov pod vodnymi ob"ektami na osnove geomekhaniki tekhnogennykh vodoprovodyashchikh treshchin / *Zapiski Gornogo instituta.* – 2016. – S. 638-643.
29. Ermoshkin, V. V. Opyt i problemy gidrootvaloobrazovaniya na razrezakh Kuzbassa // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. Otdel'nyy vypusk. Gidromekhanizatsiya.* – Moskva : MGGU, 2006. – S. 281-286.



30. Zoteev, V.G. Teoreticheskie osnovy obespecheniya ustoychivosti i formirovaniya skal'nykh otkosov glubokikh kar'erov: dis. ... d.t.n.: 05.15.03 / V.G. Zoteev. – Sverdlovsk, 1981. – 403 s.
31. Zoteev, O.V. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornyx porod chislennymi metodami / O.V. Zoteev // *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal*. – 2003. – №5.
32. Mironenko, I. A. Printsipy vybora variantov tekhnicheskikh resheniy dlya razrabotki i peremeshcheniya porod gidrootvala na novoe mesto / I.A. Mironenko, S. I. Protasov // *Vestnik KuzGTU*. – 2019. – № 1. – S. 59-65.
33. Ludzish, V. S. Ukladka nanosov i korennykh vskryshnykh porod v otval / V. S. Ludzish, Yu. V. Lesin, S. A. Prokopenko // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. – Moskva, 1986. – № 9. – S. 38-39.
34. Gal'perin, A. M. Metody opredeleniya parametrov otvalov i tekhnologii otvaloobrazovaniya na sklonakh / A. M. Gal'perin, Yu. I. Kutepov, G. M. Eremin. – Moskva : Gornaya kniga, 2012. – 104 s.
35. Demchenko, A. V. K voprosu obustroystva otvalov vskryshnykh porod pri dobyche uglya v Kuzbasse / A. V. Demchenko, I. V. Derevyashkin // *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. – 2016. – №6(86). – S. 41-46.
36. Zaklyuchenie o vozmozhnosti narashchivaniya plotiny Bekovskogo gidrootvala razreza imeni 50-letiya Oktyabrya: otchet o NIR / Kutepov Yu.I., Kutepova H.A., Fisenko G.L. – L., VNIMI, 1988. – 83 s.
37. Zaklyuchenie o sostoyanii ustoychivosti gidrootvala «Bekovskiy» razreza im. 50-letiya Oktyabrya v period zaversheniya stroitel'stva damby narashchivaniya №8: otchet o NIR / Kutepov Yu.I., Kutepova H.A. – L., VNIMI, 1990. – 76 s.
38. Issledovat' usloviya ustoychivosti i obosnovat' optimal'nye parametry gidrootvalov proizvodstvennogo ob"edineniya «Kemerovougol'»: otchet o NIR / Kryachko O.Yu., Lyakhov V.D. – L., VNIMI, 1977. – 153 s.
39. Levenson S. Ya., Gendlina L. I., Morozov A. V., Usol'tsev V. M. O formirovanii avtomobil'nykh otvalov pri otkrytoy razrabotke poleznykh iskopaemykh // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. – 2014. – № 7. – S. 50-54.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2023 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Valery F. Kolesnikov, Dr.Sc. (Tech.), Professor of the Open Pit Mining Department

e-mail: kvf.rmpio@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

28 Vesennaya str., Russian Federation, Kemerovo, 650000

