

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЕМКИ ВЗОРВАННОЙ СКАЛЬНОЙ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФРОНТАЛЬНЫХ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

*В.П. Воловик, И.Л. Коган, А.В. Карпенко, Б.А. Флоре, ПрАО «Донецксталь - металлургический завод», Украина*

На основе изучения опыта применения фронтальных пневмоколесных погрузчиков при выемке взорванной горной массы разработаны рациональные технологические схемы их работы, предусматривающие предварительную отсыпку слоя мелкофракционной горной массы на площадке занимаемой развалом взорванных пород, которые обеспечат снижение затрат энергии на выемку пород из забоя, повышение производительности и дополнительную защиту шин погрузчика от возможных повреждений.

При открытой разработке скальных месторождений полезных ископаемых для экскавации и погрузки взорванной горной массы в средства транспорта, как правило, используются карьерные гусеничные одноковшовые экскаваторы. До недавнего времени в странах СНГ это были в основном канатные экскаваторы типа ЭКГ, затем все больше стали использоваться экскаваторы с гидроприводами механизмов. Первые отличает простота и высокая надежность механизмов при высокой собственной массе (от 150 т и выше), вторые – высокая энергооборуженность при недостаточной надежности. Использование обоих видов экскаваторов связано с повышенными эксплуатационными расходами и капитальными затратами – у первых это обусловлено высокой массой машин, у вторых – конструктивной сложностью.

Наряду с этими машинами для экскавации взорванных горных пород все шире применяются фронтальные пневмоколесные погрузчики. Современный погрузчик для карьеров скальных полезных ископаемых представляет собой высокоподвижную погрузочно-транспортную машину, оборудованную специально приспособленным для работы с абразивной крупнокусовой взорванной горной массой ковшом с системой динамического взвешивания материала и регистрирования информации в нем. Как и другие современные машины, они оснащаются компьютерными системами диагностики, экономии топлива, системами обеспечения комфортных условий работы машиниста и т. п.

По сравнению с карьерными гусеничными экскаваторами фронтальные пневмоколесные погрузчики (при одной и той же емкости ковша) обладают меньшей в 5 – 10 раз массой и в 1,5 – 4 раза меньшей стоимостью. Их использование обеспечивает снижение эксплуатационных расходов на 30 – 70 %, а себестоимости погрузки взорванной скальной породы – на 15 – 50 % [1].

Пионером использования фронтальных погрузчиков для выемки и погрузки взорванной горной массы на карьерах Украины стал Малинский каменный карьер. Здесь для загрузки автосамосвалов были задействованы погрузчики Volvo L 330 E (рис. 1) и CAT 998 G, которые доказали высокую эффективность использования этого вида оборудования по сравнению с экскаваторами типа ЭКГ.

Еще в большей степени эффективность использования фронтальных погрузчиков проявляется в схемах циклично-поточной технологии, особенно тогда, когда для дробления горной массы используется мобильное или передвижное дробильное оборудование. В таких случаях дробилки первой, а то и второй стадий дробления размещаются в выработанном пространстве карьера на небольшом (до 150 – 200 м) расстоянии от действующих забоев.

Транспортирование горной массы на поверхность для окончательного дробления, сортировки и складирования готовой продукции осуществляется передвижными и стационарными ленточными конвейерами. Использование мобильных или передвижных дробилок, в комплексе с погрузчиками, позволяет полностью отказаться от использования в карьере очень дорогого в эксплуатации автотранспорта. Подобные схемы позволяют добиться наиболее высокого уровня механизации горных работ, достичь минимальных затрат на производство

продукции и максимально возможной производительности труда персонала [2].



Рисунок 1 – Погрузчик Volvo L 330 E на выемке взорванной горной массы на Малинском карьере

Однако использование таких схем ведения горных работ на Украине пока сдерживается, в одних случаях нежеланием владельцев осуществлять реконструкцию производств, пока еще эффективно работающих, в других – сложностью ее осуществления в условиях действующих производств, отсутствием наглядных примеров, находящихся в эксплуатации аналогичных производств, в третьих.

Не последнюю роль здесь играют и взрывные работы, которые производятся для подготовки скальных полезных ископаемых к выемке и представляют определенную опасность для внутрикарьерного оборудования. Его необходимо отводить на безопасное расстояние.

Использование фронтальных погрузчиков позволяет избежать потерь времени на передвижку оборудования за счет размещения дробильных установок на безопасном расстоянии и осуществлять ее только в случаях чрезмерного удаления действующих забоев. Кроме этого в последнее время начали интенсивно внедряться новые способы ведения взрывных работ с неэлектрическими системами инициирования зарядов с нижней части, обеспечивающие существенное сокращение расстояний разлета кусков породы и сейсмического воздействия.

Важным достоинством фронтальных погрузчиков является низкая чувствительность их производительности к изменению высоты забоя. Высокая маневренность машины позволяет осуществлять полное заполнение ковша даже при малой (1,5 – 2 м) высоте уступа. Ю. И. Беляковым и В. М. Владимировым (институт «УкрНИИпроект») на основании масштабных исследований установлено [3], что максимальная высота забоев для тяжелых (с мощностью двигателя 180 – 440 кВт) фронтальных погрузчиков при средней (200 – 350 мм) кусковатости взорванных горных пород может составлять 8 – 10 м для связно-сыпучих ( $K_p = 1,2 - 1,3$ ) и 14 – 16 м для сыпучих ( $K_p = 1,35 - 1,6$ ) пород, при крупной (350 – 500 мм) кусковатости, соответственно, 7 – 9 м и 13 – 15 м. Для сверхтяжелых погрузчиков (с мощностью двигателя свыше 440 кВт) максимальная высота забоев при средней кусковатости взорванных горных пород может составлять 12 – 14 м для связно-сыпучих и 19 – 20 м для сыпучих пород, при крупной кусковатости, соответственно, 11 – 13 м и 18 – 19 м.

Необходимо отметить, что Правилами [4] при разработке мелкотрещиноватых пород и руд с использованием взрывных работ допускается высоту забоя выемочного оборудования (без разграничения по его типам) увеличивать до полуторной высоты черпания. Важно понимать, что правилами ограничивается именно высота забоя, а не высота уступа. Забой, в соответствии с определением [5], – это поверхность массива полезных ископаемых или горных пород (отбитой горной массы), которая перемещается в процессе выполнения горных работ по выемке. Следовательно, ограничение по высоте забоя касается текущего состояния пространства, в котором непосредственно находится рабочий орган погрузчика.

При экскавации фронтальными погрузчиками сыпучих и связно-сыпучих горных пород разрыхленных взрывными работами высота забоя не превышает указанного ограничения даже при намного большей высоте обрабатываемых уступов. Машинист погрузчика располагается всегда лицом к забою, имеет хороший обзор поверхности забоя, его кабина находится достаточно высоко, и имеет защитное исполнение. Высокая стартовая скорость (до 3,6 м/с) и подвижность погрузчика позволяют ему своевременно отъезжать от забоя при обрушении отдельных глыб. К тому же со стороны забоя погрузчик всегда прикрыт мощной конструкцией ковша. В зарубежной практике имеются примеры безопасной работы фронтальных погрузчиков на уступах сыпучих пород высотой до 50 м.

Известно, что увеличение высоты уступов, которыми отрабатывается месторождение полезных ископаемых, способствует существенному улучшению технико-экономических показателей предприятия в целом. Это связано с сокращением затрат на создание и эксплуатацию транспортных горизонтов, ведение буровзрывных работ, приобретение необходимого количества оборудования, оплату труда персонала для его обслуживания и т. п.

Организация отработки месторождения высокими уступами при помощи фронтальных погрузчиков, способна существенно снизить себестоимость добычи полезного ископаемого и улучшить показатели работы предприятия.

Особенностью работы погрузчика является внедрение ковша во взорванную горную массу по подошве забоя, которое сопровождается высоким сопротивлением внедрению ковша. Это связано с неровностями подошвы забоя, образующимися при взрывных работах под влиянием перебуров скважин, которые необходимы для качественного разрыхления нижней части уступа, а также встречей ковша с крупными кусками взорванной горной массы. Поэтому одним из условий повышения эффективности работы погрузчиков является обеспечение скорости и полноты наполнения ковша при выемке горной массы из развала образованного взрывными работами.

Необходимое напорное усилие для преодоления сопротивления внедрению ковша в горную массу создается ходовой частью погрузчика за счет сцепления его шин с подошвой забоя. Шины при этом подвергаются интенсивному износу, уменьшают который путем применения шинозащитных цепей. Это очень плотная сетка из высоколегированной стали подвергнутая закалке, которая как защитная оболочка охраняет от повреждений все уязвимые части шин по бокам и на протекторе, практически не требующая технического обслуживания. Высокий уровень самоочистки цепей предотвращает забивание и зашлаковывание ячеек цепи. Правильно подобранные цепи обеспечивают увеличение ресурса шин до 15000 часов.

Для облегчения внедрения ковша в развал взорванной горной массы применяют специальные скальные ковши – усиленные конструкции с режущей частью V-образной формы, оснащенной сменными зубьями, с защитными пластинами на боковых стенках и защитной решеткой из толстостенных труб в верхней части задней стенки. Зубья и пластины позволяют раздвигать горную массу в забое либо разворачивать крупные куски взорванной горной массы относительно их центра тяжести при движении ковша по подошве забоя. Это позволяет несколько снизить сопротивление внедрению ковша в горную массу. Однако использование скального ковша не решает проблемы преодоления сопротивлений неровностей подошвы забоя, которые составляют существенную часть сопротивления внедрению ковша в горную массу.

Различают четыре способа выемки горной массы из забоя погрузчиком: отдельный, совмещенный, экскаваторный и комбинированный [6]. Во всех перечисленных способах первым движением ковша является его перемещение по подошве забоя с преодолением ее неровностей.

Для снижения сопротивления внедрению ковша погрузчика в развал предлагается использовать следующий способ [6]. Его суть заключается в том, что в схемах с использованием фронтальных пневмоколесных погрузчиков в забое перед проведением взрывных работ на почву уступа самим погрузчиком или вспомогательной техникой заранее осыпается специ-

альный слой отсева от дробления горных пород либо малоходовой фракции щебня, на которые при проведении взрывных работ укладывается развал взорванной скальной горной массы.

Этот слой при последующем черпании взорванной скальной горной массы погрузчиком обеспечивает: снижение общего сопротивления внедрению ковша в забой; повышение производительности погрузчика; дополнительную защиту шин от возможных повреждений.

Во время внедрения ковша погрузчика в забой по почве уступа верхняя часть отсева попадает в ковш, а нижняя остается на почве забоя. При этом за счет снижения сопротивления внедрению ковша погрузчика в забой по передней кромке ковша, уменьшения трения материала в ковше и уменьшения трения днища ковша о подошву забоя снижается время цикла и соответственно повышается производительность погрузчика.

На рис. 2 приведена схема ведения горных работ с использованием фронтальных пневмоколесных погрузчиков по предлагаемому способу, который предусматривает два последовательных производственных цикла работы погрузчика (а) и (б).

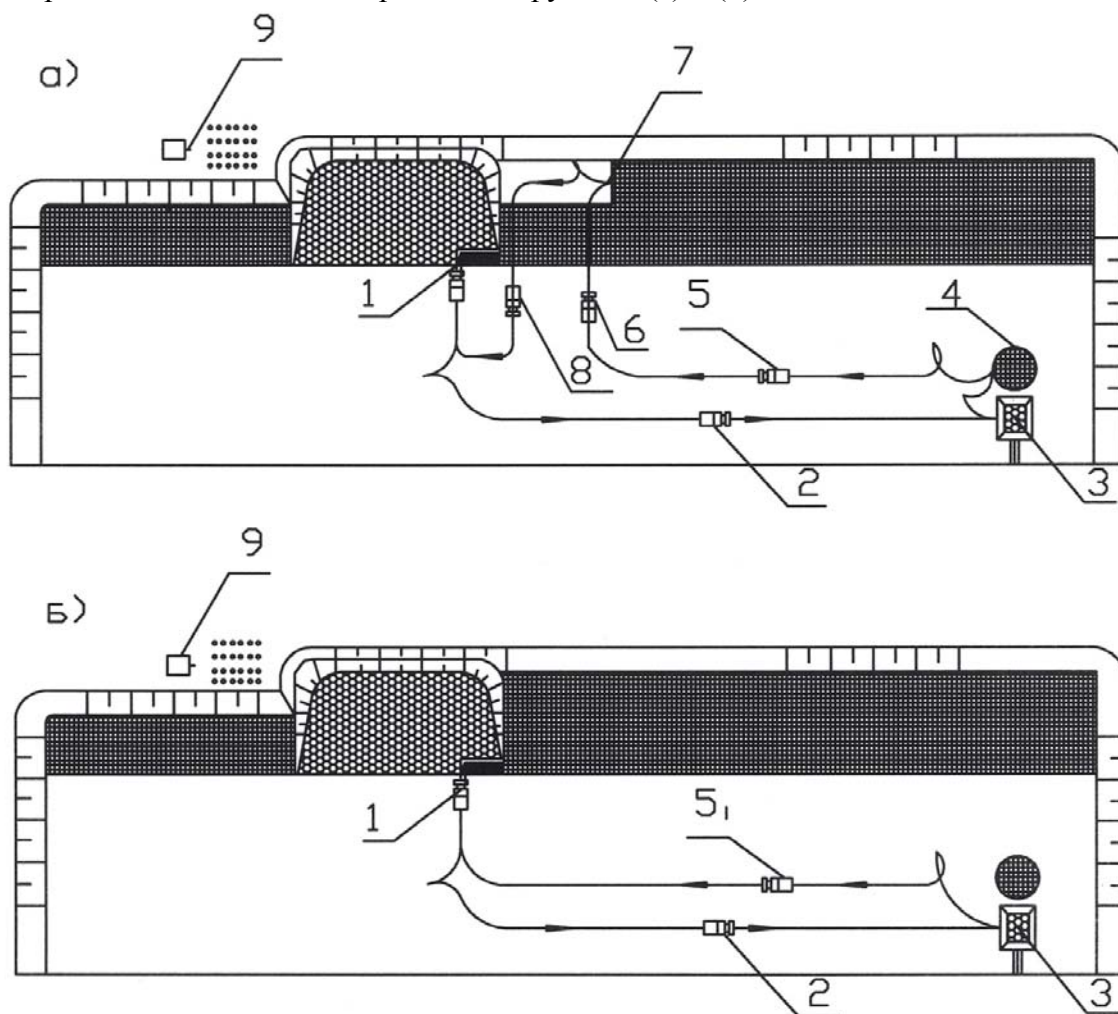


Рисунок 2 – Организация ведения горных работ

1 – забой погрузчика в скальной взорванной горной массе; 2 – движение погрузчика со горной массой в ковше в грузовом направлении к дробилке; 3 – дробилка; 4 – склад отсева; 5 – движение погрузчика с отсевом в ковше в порожнем направлении; 5<sub>1</sub> – движение погрузчика с пустым ковшом в порожнем направлении; 6 – движение погрузчика для отсыпки слоя отсева; 7 – место разгрузки отсева на почву уступа; 8 – движение погрузчика с пустым ковшом в забой; 9 – буровой станок.

На рис. 2, а показан производственный цикл работы погрузчика с транспортировкой скальной массы в грузовом направлении к дробилке и движение погрузчика с отсевом в

ковше в порожнем направлении, при котором осуществляется предварительное образование слоя отсева дробления горных пород на почве уступа.

В забой 1 фронтальный погрузчик осуществляет наполнение ковша взорванной скальной горной массой, разворот задним ходом, транспортировку скальной горной массы в ковше в грузовом направлении 2 к дробилке 3, разгрузку ковша в приемный бункер дробилки, маневр задним ходом и подъезд к складу отсева 4, наполнение отсевом ковша, разворот задним ходом и транспортировку отсева в ковше в порожнем направлении 5, движение погрузчика 6 для отсыпки слоя отсева к месту отсыпки 7, разворот задним ходом и подачу погрузчика 8 снова в забой 1.

На рис. 2, б показан производственный цикл работы погрузчика с транспортировкой скальной массы в грузовом направлении к дробилке и движение погрузчика с пустым ковшом в порожнем направлении. Этот цикл производится после завершения формирования слоя отсева на почве уступа.

В забой 1 фронтальный погрузчик осуществляет наполнение ковша взорванной скальной горной массой, разворот задним ходом, транспортировку скальной горной массы в ковше в грузовом направлении 2 к дробилке, разгрузку ковша в приемный бункер дробилки 3, разворот задним ходом и движение с пустым ковшом в порожнем направлении 5, снова в забой 1.

Соотношение времени работы по каждому циклу определяется соотношением высоты уступа  $H$  в целике и высоты слоя отсева на почве  $h$  (рис. 3).

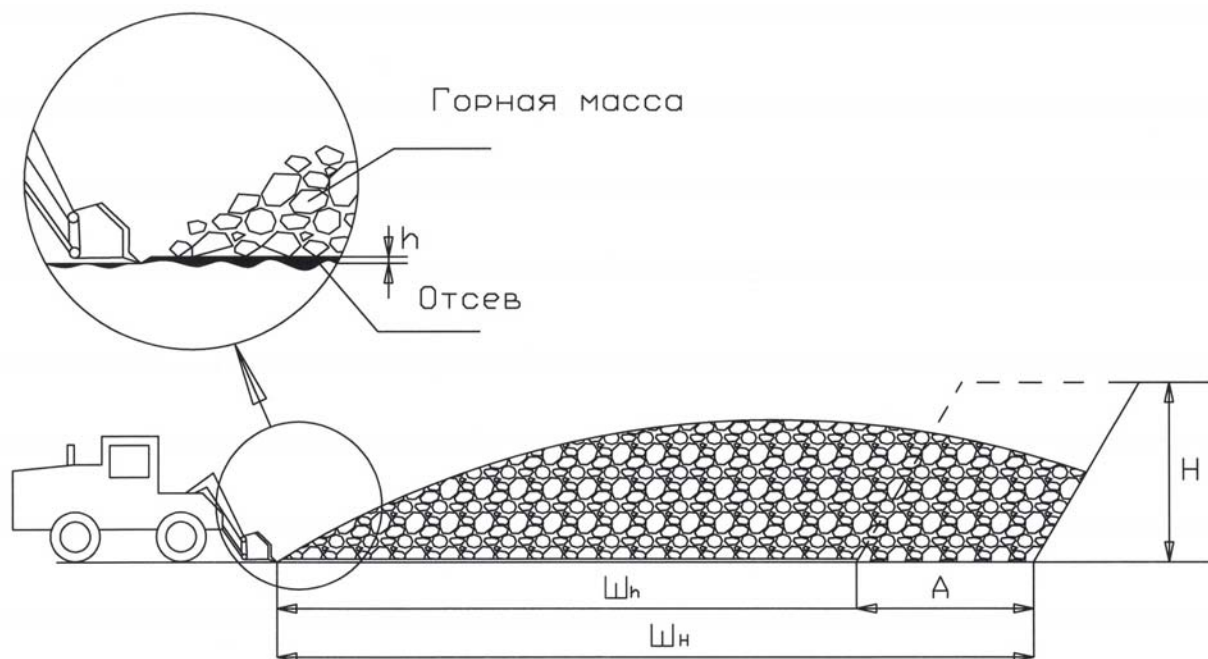


Рисунок 3 – Поперечное сечение развала горной массы

$H$  – высота уступа в целике;  $h$  – высота слоя отсева на почве пласта;  $A$  – ширина заходки по целику;  $Ш_h$  – ширина отсева под развалом пород;  $Ш_H$  – ширина развала горных пород после проведения взрывных работ.

Установлено, что 1 – 2 % рабочего времени погрузчик будет работать с формированием слоя отсева на почве пласта (рис. 2, а) и 99 – 98 % рабочего времени – без формирования слоя отсева на почве (рис. 2, б).

Следует отметить, что ширина подсыпанной отсевом площадки  $Ш_h$  меньше ширины развала горной массы  $Ш_H$  на ширину заходки  $A$ . Следовательно, для более эффективного использования предложенного способа надо стремиться к повышенной ширине развала.

На рис. 4 приведены примеры осуществления выемки горной массы фронтальным пневмоколесным погрузчиком с предварительным образованием слоя отсева от дробления горных пород или малоходовой фракции по подошве уступа (в порядке увеличения трудности экскавации).



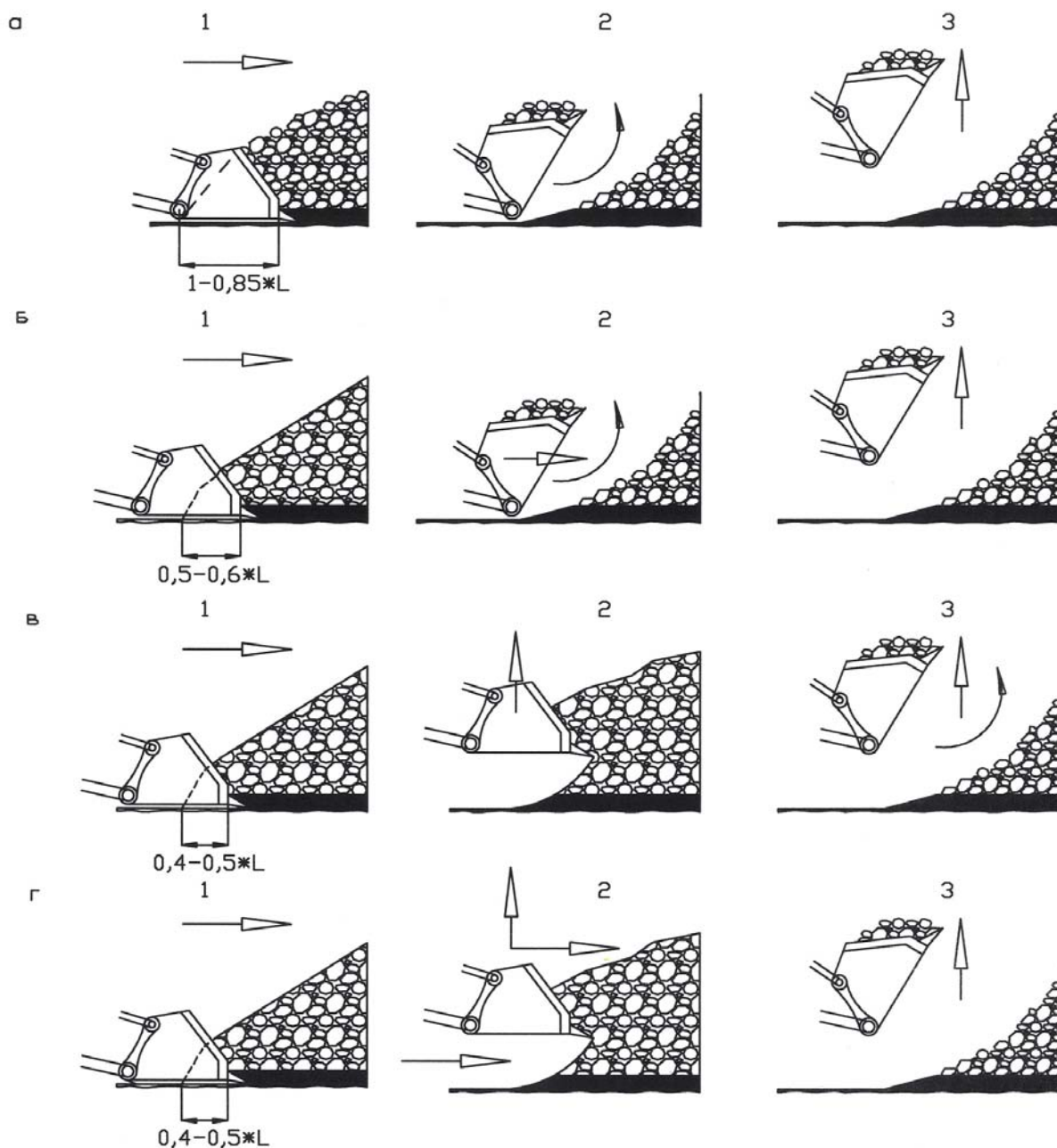


Рисунок 4 – Способы выемки горной массы из развала, уложенного на слой отсева а – раздельный; б – совмещенный (с поворотом ковша); в – экскавационный (совмещенный с подъемом ковша); г – комбинированный (совмещенный с подъемом и поворотом ковша)

При этом за основу взяты способы выемки горной массы из забоя погрузчиком по Томакову П.И. [7]. Область применения каждого способа выемки определяется степенью разрыхления горных пород взрывом, а эффективность его реализации зависит от квалификации машиниста погрузчика.

При раздельном способе выемки пород погрузчиком осуществляется поступательное движение со скоростью 1,4 – 1,8 км/ч (рис. 4, а), ковш погрузчика движется по слою отсева дробления горных пород по подошве забоя практически до упора массы в заднюю стенку ковша (на 0,8 – 1,0 длины ковша). После внедрения ковша и остановки машины, ковш поворачивается на полный угол запрокидывания без движения погрузчика. Затем осуществляется подъем стрелой заполненного ковша в транспортное положение. После этого погрузчик начинает движение задним ходом. При достаточной квалификации машиниста погрузчика процесс подъема стрелы в транспортное положение и движения к месту разгрузки можно совместить.

Недостаток этого способа – необходимость глубокого внедрения ковша в забой, что требует большего напорного усилия. Требуется также большая мощность привода для преодоления сопротивлений отрыву полного ковша из забоя в начальный период поворота ковша.

Во избежание ударных нагрузок на конструкции и большого износа шин не рекомендуется превышать скорость движения свыше 4 км/ч при внедрении ковша. Раздельный способ выемки применяется для легких сыпучих и мелкокусковых взорванных пород с коэффициентом разрыхления 1,35 – 1,5.

При использовании совмещенного способа выемки пород (рис. 4, б) внедрение ковша погрузчика в забой на 0,5 – 0,6 его длины осуществляется по отсеvu на подошве уступа при скорости 2,5 – 5 км/ч с постепенным поворачиванием ковша до максимального угла запрокидывания. При этом приводы напора, подъема и поворота ковша погрузчика не преодолевают больших сопротивлений при черпании горной массы и будут загружены равномерно. В этом случае величина напорного усилия внедрения снижается в 2 – 3 раза по сравнению с раздельным способом. После заполнения ковша производится подъем стрелой заполненного ковша в транспортное положение. Затем погрузчик начинает движение задним ходом. Совмещенный способ выемки применяется для связносыпучих и сыпучих среднекусковых взорванных пород с коэффициентом разрыхления 1,15 – 1,35.

При использовании экскаваторного способа выемки пород (рис. 4, в) после внедрения ковша на глубину 0,4 – 0,5 длины ковша производят подъем стрелы. При выходе из забоя во избежание потерь ковш запрокидывают. Этот способ выемки применяется для крупнокусковых связных взорванных пород с коэффициентом разрыхления 1,02 – 1,15 при высоте забоя 1,5 м и выше.

Комбинированный способ выемки (рис. 4, г), как и экскаваторный, применяется для крупнокусковых связных взорванных пород с коэффициентом разрыхления 1,02 – 1,15. При этом способе разработки по мере внедрения ковша одновременно с напорным движением погрузчика с помощью механизмов поворота ковша и подъема стрелы осуществляют попеременно поворот ковша на угол  $2 - 3^{\circ}$  и подъем стрелы на  $5 - 10^{\circ}$  до момента выхода ковша из забоя. При комбинированном способе величина удельного сопротивления копанью на 10 – 15 % меньше по сравнению с другими способами, а коэффициент наполнения ковша больше (до 20 – 30 %). Этот способ обеспечивает максимальное наполнение ковша. При этом по сравнению с экскаваторным способом производительность погрузчика повышается на 5 – 10 %.

Эффективность реализации каждого из способов зависит от квалификации машиниста погрузчика. Раздельный способ является наиболее простым и наиболее распространенным приемом заполнения ковша сыпучей мелкокусковой горной массой и не требует повышенной квалификации машиниста.

Совмещенный способ выемки связносыпучих и сыпучих среднекусковых взорванных пород в обычных условиях (при отсутствии слоя отсева) требует уже повышенной квалификации машиниста. Экскаваторный способ выемки крупнокусковых связных взорванных пород требует весьма квалифицированного управления погрузчиком. Зачерпывание производится очень быстро, что требует определенных навыков управления машиной. Например, запаздывание с остановкой ходового механизма погрузчика приводит к чрезмерному зарыванию ковша в забой и повышенной нагрузке на ходовую часть, трансмиссию и двигатель. При разработке скальных пород, когда не обеспечивается необходимая глубина внедрения и наполнение ковша, приходится производить дополнительные внедрения. Комбинированный способ выемки связных крупнокусковых взорванных пород еще в большей степени чувствителен к ошибкам в управлении погрузчиком. Из-за сложности его могут применять только высококвалифицированные машинисты.

При выемке даже связной крупнокусковой горной массы из развала, уложенного на слой отсева, необходимое наполнение ковша будет обеспечиваться при реализации более простых способов, что позволит снизить требования к уровню квалификации машиниста.

При использовании описанного технического решения за счет снижения сопротивления ковша погрузчика при внедрении в развал горной массы и сокращения времени черпания ожидается повышение производительности погрузчика не менее чем на 8 – 12 %.

В зависимости от конкретных горно-геологических условий применения погрузчиков экспериментально уточняется мощность слоя отсыпаемого на почву, его состав и способ выемки забоя погрузчиком. Следует отметить, что на щебеночных карьерах вместо отсева на подошве уступа можно использовать малоходовые товарные фракции щебня либо продукты грохочения перед первой стадии дробления (загрязненная мелкая фракция).

### **Выводы**

1. Пневмоколесные фронтальные погрузчики успешно конкурируют с карьерными экскаваторами при разработке сыпучих грунтов, в том числе мелко- и среднекусковатых взорванных скальных пород. По сравнению с карьерными гусеничными экскаваторами фронтальные пневмоколесные погрузчики (при одной и той же емкости ковша) обладают меньшей в 5 – 10 раз массой и в 1,5 – 4 раза меньшей стоимостью. Их использование обеспечивает снижение эксплуатационных расходов на 30 – 70 %, а себестоимости погрузки взорванной скальной породы – на 15 – 50 %.

2. Организация отработки месторождения высокими уступами при помощи фронтальных погрузчиков, способна существенно снизить себестоимость добычи полезного ископаемого и улучшить показатели работы предприятия.

3. Одним из условий повышения эффективности работы погрузчиков является обеспечение быстроты и полноты наполнения ковша при выемке горной массы из развала образованного взрывными работами.

4. Снижение сопротивления внедрению ковша фронтальных пневмоколесных погрузчиков во взорванную скальную горную массу может достигаться предварительной (перед взрывными работами) отсыпкой на подошву уступа на предполагаемой площади размещения развала взорванной горной массы слоя из отсева дробления горных пород. При выемке горной массы фронтальным погрузчиком этот слой обеспечивает: снижение общего сопротивления внедрению ковша в забой; повышение производительности машины; дополнительную защиту шин от возможных повреждений.

5. За счет снижения сопротивления внедрению ковша погрузчика в развал горной массы по слою отсева необходимое наполнение ковша будет обеспечиваться при реализации более простых способов выемки, что позволит снизить требования к уровню квалификации машиниста. Ожидается повышение производительности погрузчика не менее чем на 8 – 12 %.

6. Наибольший эффект достигается при применении предложенной схемы для отработки открытым способом скальных месторождений по циклично-поточной технологии с использованием фронтальных пневмоколесных погрузчиков в качестве основного выемочно-доставочного оборудования и передвижных дробильных установок, образующих необходимый для подсыпки отсев (щебень) в непосредственной близости к забою.

### **Список литературы**

1. Трубецкой К.Н. Научные основы проектирования и технология применения карьерных погрузчиков на открытых горных работах. Автореф. докт. дис. М., ИПКОН АН СССР, 1980.

2. Воловик В.П., Коган И.Л., Карпенко А.В., Симоненко В.И., Анисимов О.А., Гриценко Л.С. Совершенствование добычи и переработки горных пород на щебеночных карьерах // Материалы междунар. конф. «Форум горняков – 2010». - Днепропетровск; НГУ, 2010. – с. 97 – 104.

3. Беляков Ю.И. Выемочно-погрузочные работы на карьерах. - М., Недра, 1987, – 268.

4. ДНАОП 1.2.90-1.01-94 - НПАОП 0.00-1.33-94. Правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. Утв. приказом Госкомохрантруда Украины № 54 от 31.05.94.

5. Горная энциклопедия. М., «Советская энциклопедия», 1986, т. 2, – 575.

6. Патент № 98077 України, МПК E21C41/26 Спосіб відкритої розробки скельних родовищ корисних копалин з використанням фронтальних пневмоколісних навантажувачів / Філатов Ю.В., Воловик В.П. та ін. Опубл. 10.04.2012 Бюл. 7.

7. Томаков П.И. Структуры комплексной механизации карьеров с техникой циклического действия. М. Недра, 1976.