

---

---

УДК 622.271.33

**Анисимов О.А.**, канд.техн.наук, ст.науч.сотр.  
(ГВУЗ «НГУ»)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ЗАБОЯ ВЗОРВАННОЙ  
ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ РАБОТЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ**

**Анісімов О.О.**, канд.техн.наук, ст.наук.співр.  
(ДВНЗ «НГУ»)

**ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ВИСОТИ ВИБОЮ ПІДРВАНОЇ  
ГІРНИЧОЇ МАСИ ПРИ РОБОТІ ФРОНТАЛЬНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ**

**Anisimov O.A.**, Ph.D.(Tech.), Senior Researcher  
(SHEI «NMU»)

**DETERMINATION OF MAXIMUM HEIGHT OF A FACE WITH BLASTED  
ROCKS FOR FRONT WHEEL LOADER EASY OPERATION**

**Аннотация.** В карьерах многих стран, ведущих добычу полезных ископаемых, применяются фронтальные погрузчики с разной емкостью ковша. Погрузчики находят применение при выполнении основных операций по выемке горной массы из забоя, ее погрузки или транспортирования на небольшие расстояния. В процессе выемки горной массы из забоя возникают обрушения подрабатываемых разрыхленных горных пород на уровне подошвы забоя. Приведены типы обрушения подорванных пород в забое. Обрушение представляет собой динамический, сравнительно быстротечный процесс, возникающий в результате нарушения условий равновесия между сдвигающими и удерживающими силами в подработанной экскаватором или погрузчиком взорванной массе. Выполнены расчеты высоты отработываемого забоя при работе фронтального погрузчика. Высота забоя определяется, прежде всего, извлекаемым материалом его физико-механическими свойствами, прочими характеристиками. Полученные показатели позволяют выделить диапазон безопасной устойчивой высоты откоса забоя для работы погрузчиков.

**Ключевые слова:** фронтальный погрузчик, высота забоя, устойчивость пород, обрушение пород.

На карьерах по добыче щебеночного сырья в Германии, Австрии, Турции, Великобритании, Финляндии и др. стран широкое применение нашли фронтальные погрузчики. Основными производителями-поставщиками фронтальных погрузчиков являются зарубежные страны: Россия, Беларусь, Япония, Германия, США, Китай и др. Довольно небольшая стоимость данных машин определяет их потребность на рынке Украины. Увеличение количества строящихся объектов (дороги, дома, сооружения и т.д.) приводит к повышению спроса на блочный камень, щебень, асфальт и прочее. При строительстве используется такое сырье, как гранит, известняк, глина и другие, что указывает на потребность данных полезных ископаемых на территории Украины и ближнего зарубежья. При разработке месторождений со значительной производительностью

предприятия, как правило, на выемочно-погрузочных работах используются экскаваторы (прямая или обратная лопата). В Украине фронтальные погрузчики используются, в основном, как вспомогательное оборудование, как средство отгрузки готовой продукции (щебня). Однако они находят применение и при выполнении основных операций по выемке горной массы из забоя, ее погрузки или транспортирования.

Необходимо указать, что погрузчики имеют ряд достоинств и конечно же недостатков, которые производителями по мере набранного опыта устраняются. Все достоинства и недостатки при использовании колесных погрузчиков в карьерах можно разделить на технологические и организационные. Технологические связаны с выполняемыми процессами, а организационные с обслуживанием данных процессов. Основными недостатками погрузчиков используемых в карьерах в качестве основного оборудования являются:

- небольшая высота обрабатываемого развала или уступа, которая зависит от типа машины и ее рабочих характеристик, обрабатываемых пород и условий их залегания и подготовки;
- необходимость очень качественно рыхлить горную массу, что ведет к сближению взрываемых скважин и увеличению объемов бурения;
- фронтальность работы погрузчика, а соответственно из-за этого увеличивается рабочая площадка;
- расход масла, фильтров, износ покрышек, зубьев ковша и самих ковшей, сложность изготовления деталей связанных с гидросистемой, привязка работы к метеоусловиям и т.д.

К достоинствам погрузчиков используемых в карьерах можно отнести:

- маневренность и возможность использования машин в качестве транспортного средства на незначительные расстояния;
- меньшая стоимость погрузчика по сравнению с экскаватором;
- возможность использования в комплексе с передвижными дробильно-сортировочными установками (т.е. имеется возможность исключить экскаватор и автосамосвал на период подготовки щебня);
- при подготовке нескольких дробимых фракций погрузчик может отгружать любую крупность необходимую потребителю;
- склады готовой продукции внутри карьеров при эксплуатации погрузчиков могут быть «динамичными» (перемещаться по мере продвижения фронта горных работ с учетом отгрузки и места расположения складов);
- селективность обработки уступов, если этому сопутствуют условия залегания и разрушения горных пород.

Высоту обрабатываемого забоя определяет, прежде всего, извлекаемый материал его физико-механические свойства, фракционный состав и т.д.

При работе погрузчика с отгрузкой мелкодробленой фракции щебня  $0\div 5$ ,  $5\div 10$ ,  $10\div 40$  мм на дробильно-сортировочном заводе и песка высота забоя может быть равна высоте формируемого штабеля готовой продукции от 4 до 10-15 м (сыпучие материалы). В таких условиях погрузчики вполне справляются с процессом загрузки ковша. Кроме этого мелкая фракция под действием сил

гравитации и зацепления между отдельностями принимает естественный угол откоса, после того, как из забоя вынимается ковш погрузчика. Необходимо учитывать и то, что в момент полной загрузки ковша машина начинает двигаться от забоя, что обеспечивает безопасную работу машины.

Сложнее обстоит работа погрузчиков в условиях работы по выемке однородных изотропных связанных пород (глина, суглинки, супеси) из-за сцепления отдельностей могут происходить обвалы забоев в момент движения погрузчика на тело забоя.

Трудными забоями можно также назвать такие, которые сформированы скальными породами при буровзрывных работах из-за наличия в них негабаритных кусков. Забой будет обрабатываться фронтальным погрузчиком до момента столкновения рабочего органа с негабаритным куском с линейным размером превышающий размер ширины кромки ковша.

Специфика кинематической схемы основного оборудования погрузчика предопределяет работу его в основном за счет обрушения подрабатываемых разрыхленных горных пород на уровне подошвы забоя. В связи с этим наиболее полное и быстрое наполнение ковша и, следовательно, производительность погрузчика зависят в значительной мере от частоты и объема обрушения подрабатываемого развала пород [1]. Своды подработки и обрушения при различной ширине зоны черпания образуются в результате выемки пород (рис. 1). Факельная форма свода обрушения образуется, как правило, когда высота уступа  $H_y$  не превышает 10 м и высота забоя  $H_3 = H_y$ , либо в тех случаях, когда высота свода обрушения  $H$  меньше высоты уступа  $H_y$  (т.е. свод обрушения не выходит на поверхность развала), грибообразная – при черпании узким ( $b_ч = 6-8$  м) опережающим забоем с  $H_3 = H_y$ , столбчатая – во всех остальных случаях при высоте уступа свыше 10 м.

Статистическая обработка данных по взорванным породам показала, что основными причинами обрушений, происходящих в каком-либо секторе забоя во время экскавации, являются: подработка нижней части этого сектора; предварительная подработка или обрушение в соседнем секторе; воздействие внешнего импульса (движущегося транспорта и т. п.) при некоторой подработке нижней части забоя [1].

Характер обрушения пород. Обрушение подорванных пород в забое представляет собой динамический, сравнительно быстротечный процесс, возникающий в результате нарушения условий равновесия между сдвигающими и удерживающими силами в подработанной экскаватором или погрузчиком взорванной массе.

Предельное равновесие взорванных пород при подработке забоя достигается постепенно, по мере отработки определенного объема. При копании массы нарушается равновесие кусков, лежащих вблизи зоны черпания и они выпадают под действием сил тяжести. Выпавшие куски нарушают равновесие вышележащего слоя породы и последний также выпадает. При этом вокруг зоны копания образуется устойчивая полость, называемая сводом естественную равновесия (сводом подработки).

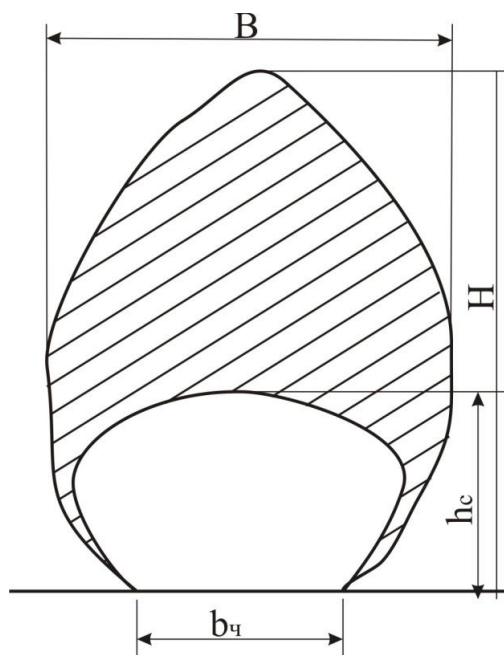


Рис. 1 – Факельная форма свода обрушения развала взорванной горной породы при подработке ее погрузчиком:  $b_{ч}$  – ширина зоны черпания;  $H$  – высота свода обрушения;  $B$  – ширина свода обрушения.

Все встречаемые на открытых разработках обрушения пород по характеру их протекания условно разделены на три типа: обрушение одной волной, обрушение несколькими волнами, течение. **Обрушение одной волной** начинается одновременно в верхней части или по всей высоте забоя, обычно после предварительного (предупреждающего) местного осыпания незначительного объема. **Обрушение несколькими волнами** начинается в средней части забоя (реже в верхней) и развивается по площади и глубине до определенного предела. В период частичного или полного убывания первой волны обрушаемых пород возникает вторая волна обрушения в данном или соседнем секторе. Количество волн возрастания интенсивности за период обрушения составляет 2-3, а в отдельных случаях достигает 5-6. Обрушения несколькими волнами наблюдаются при всех состояниях взорванной массы и наиболее характерны для неравномерного рыхления массы в средней и верхней частях забоя, а также при слежавшейся массе и глинистых включениях. Течение начинается в средней части забоя (над подрабатываемой зоной) и плавно развивается вверх, к верхней бровке откоса. Затухание процесса происходит плавно. Изменение интенсивности обрушения во времени незначительное. При хорошем качестве дробления ( $d_{cp} < 35$  см,  $K_p = 1,3-1,5$ ) разрушенная взрывом масса приобретает свойства сыпучей среды, склонна к обрушению при незначительной подработке забоя и обрушения происходят очень часто мелкими порциями (течение) [2].

Сыпучая горная масса характеризуется отсутствием сцепления. Основные характеристики сыпучей горной массы – коэффициент внутреннего трения и угол внутреннего трения, которые соответственно изменяются в пределах 0,53 – 0,78 и 28 – 38° [3]. Для обеспечения условия равновесия откосов сыпучей гор-

ной массы необходимо, чтобы угол откоса отвала не превышал угла внутреннего трения горной массы.

Процесс осыпания откоса забоя имеет одну особенность, обусловленную тем, что коэффициент внутреннего трения сыпучей горной массы всегда больше коэффициента трения при скольжении по плоской поверхности частицы или куска породы, представляющей данную горную массу. Это объясняется тем, что частицы или куски горной массы на откосе забоя находятся не на плоской наклонной поверхности, а на поверхности, имеющей выступы и впадины, образованные нижележащими кусками горной массы.

Поэтому условие равновесия откоса отвала сыпучей горной массы правильно было бы характеризовать не коэффициентом внутреннего трения, а коэффициентами внутреннего зацепления частиц и кусков горной массы друг о друга. Коэффициент внутреннего зацепления сыпучей горной массы зависит не только от коэффициента трения по поверхностям соприкосновения, но и от формы и размеров частиц и кусков горной массы [3].

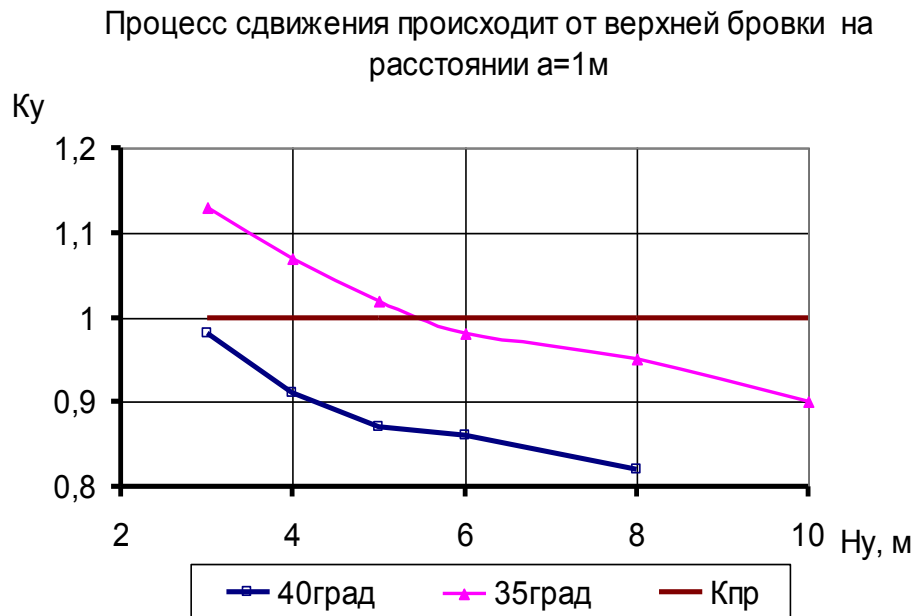
Условие предельного равновесия поверхности откоса сыпучей горной массы имеет место не только при равенстве угла откоса отвала и угла внутреннего трения сыпучей горной массы (рис. 2а), но и в том случае, когда откос представляет собой некоторую криволинейную вогнутую вниз поверхность АВД, пересекающую линию АД в нижней и верхней точках откоса под углом ( $45^\circ - \varphi/2$ ) (рис. 2б). Предельное равновесие кусков и частиц сыпучей горной массы по криволинейной поверхности АВД определяется, как и для связной горной массы.

Учитывая то, что развал горного массива после взрыва содержит как крупные отдельные, так и мелкие частицы угол внутреннего трения будет изменяться. В расчетах используется интервал угла внутреннего трения для скальных разрушенных пород от  $30^\circ$  до  $36^\circ$ . По данным Малюшецкого Ю.Н. [4] естественный угол откоса разрыхленных скальных пород составляет  $32-45^\circ$ .

Для месторождений ведущих добычу гранитов были рассчитаны показатели устойчивости (по методу Фисенко) при следующих параметрах: угол внутреннего трения  $30^\circ$  и  $36^\circ$ ; сцепление (зацепление) горной массы разрушенной взрывом принята  $0,05\text{т}/\text{м}^2$  (по данным ВИОГЕМ для скальных вскрышных пород карьеров ОАО «АрселорМиттал Стил Кривой Рог»); объемный вес принят  $1,6\text{ т}/\text{м}^3$ . Результаты устойчивости пород в забое при возникновении обрушения одной волной с отрывом от верхней бровки развала на расстоянии  $0,5$  и  $1$  м показаны на рис. 2 и 3.

Кривые зависимости коэффициента устойчивости (рис.2) от высоты обрабатываемого забоя для разрыхленных скальных пород с **углом внутреннего трения  $30^\circ$**  показывают, что при угле откоса развала  $35^\circ$  устойчивая высота забоя фронтального погрузчика составляет  $3,8\div 5,3$  м и менее, а при угле  $40^\circ$  –  $1,9\div 2,8$  м.

а)



б)

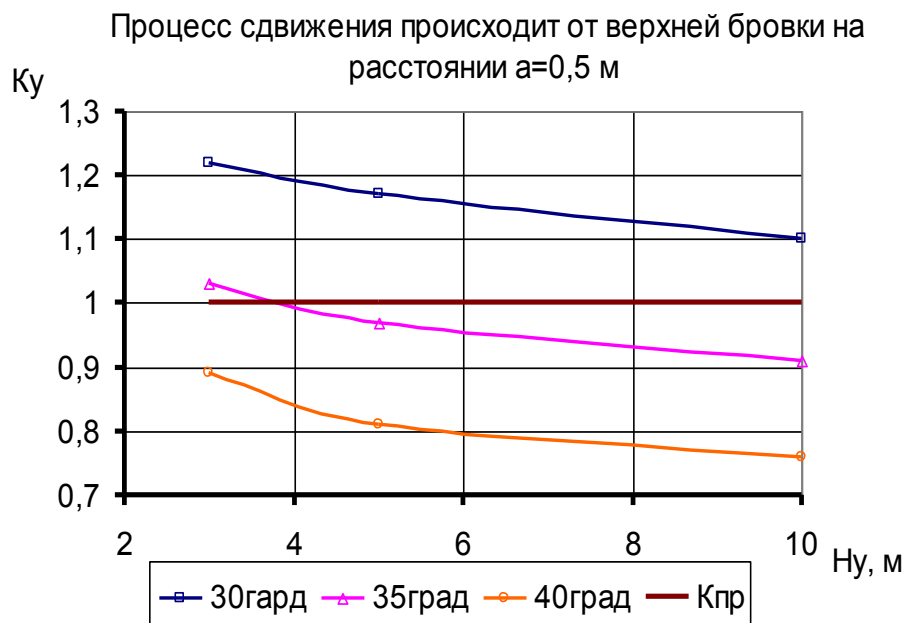


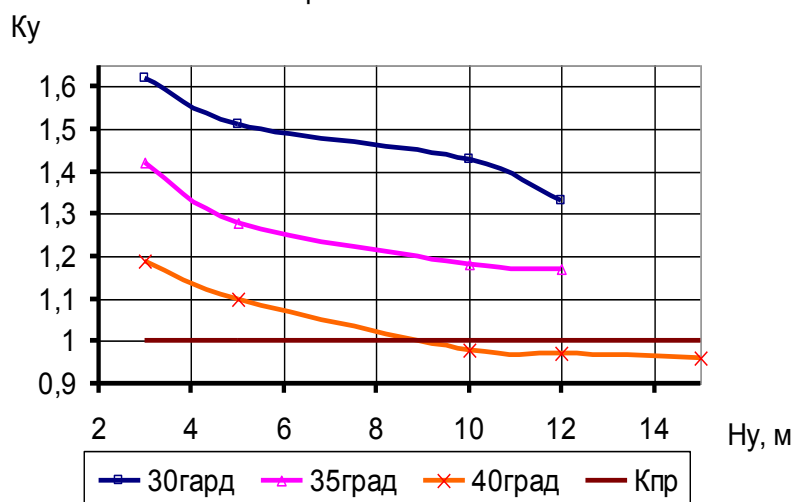
Рис. 2 – Зависимость коэффициента устойчивости горных пород от высоты забоя фронтального погрузчика в породах развала при угле внутреннего трения  $30^\circ$ : - углы естественно-откоса развала ( $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ); -  $K_{пр}$  – коэффициент предельного равновесия

На рис. 3 показаны зависимости коэффициента устойчивости от высоты обрабатываемого забоя для разрыхленных скальных пород с **углом внутреннего трения  $36^\circ$** , при угле откоса развала  $30^\circ$  устойчивая высота забоя фронтального погрузчика составляет 12 м и менее, а при угле  $40^\circ$  – 5,5÷8,9 м.

Полученные показатели позволяют выделить диапазон безопасной устойчивой высоты откоса забоя для работы погрузчиков. В среднем безопасная высота откоса забоя фронтального погрузчика составляет при угле откоса развала  $30^\circ$  – 6÷8 м, при угле  $40^\circ$  – 3,7÷5,8 м. Изменение состояния откоса забоя при выемке горной массы приводит к увеличению угла, а следовательно, к проявлениям обрушения разрыхленного взрывом горного массива до устойчивого положения.

а)

Процесс сдвижения происходит от верхней бровки на расстоянии  $a=1\text{ м}$



б)

Процесс сдвижения происходит от верхней бровки на расстоянии  $a=0,5\text{ м}$

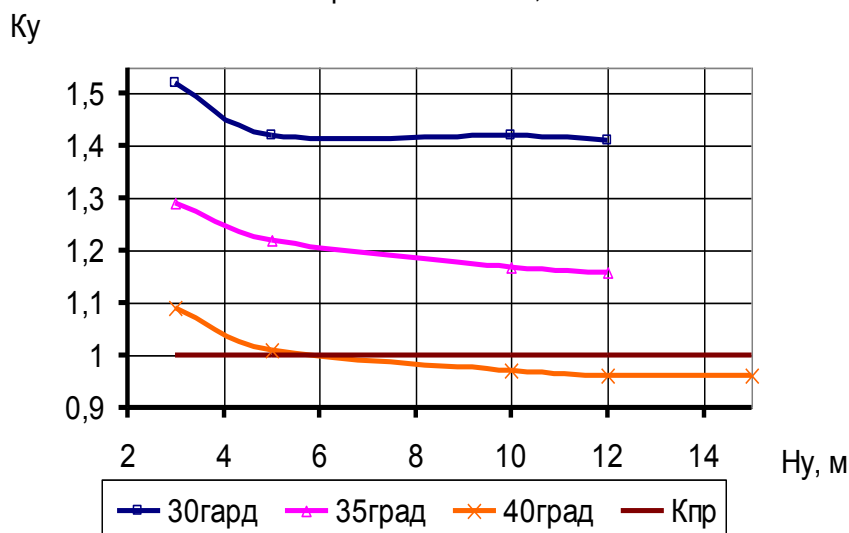


Рис. 3 – Зависимость коэффициента устойчивости горных пород от высоты забоя фронтального погрузчика в породах развала при угле внутреннего трения  $36^\circ$ : -углы естественного откоса развала ( $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ); -  $K_{пр}$  – коэффициент предельного равновесия

Безопасная выемка фронтальным погрузчиком может проводиться только в забое, который прекратил свое обрушение и в верхней части которого отсутствуют глыбы негабаритных кусков. В противном случае необходимо разбирать развал с применением экскаватора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой, К.Н. Технология применения и параметры карьерных погрузчиков / К.Н. Трубецкой. – М.: Недра, 1985. – 264 с.
2. Беляков, Ю.И. Совершенствование технологии выемочно-погрузочных работ на карьерах / Ю.И. Беляков. – М.: Недра, 1977. – 295 с.
3. Гончаров, С.А. Перемещение и складирование горной массы: Учеб. пособие для вузов / С.А. Гончаров. – М.: Недра, 1988. – 199 с.

4. Малюшецкий, Ю.Н. Условия устойчивости бортов карьеров / Ю.Н. Малюшецкий. - Киев: Изд-во АН УССР, 1957. – 270 с.

#### REFERENCES

1. Trubetskoy, K.N. (1985), *Tehnologiya primeneniya i parametry karernyih pogruzchikov* [Application technology and options of opencast mining loaders], Nedra, Moscow, USSR.

2. Belyakov, Yu.I. (1977), *Sovershenstvovanie tehnologii vyemochno-pogruzochnyih rabot na karerakh* [Improving the technology of excavation and loading operations in the opencast mining], Nedra, Moscow, USSR.

3. Goncharov, S.A. (1988), *Peremeschenie i skladirovanie gornoj massyi: Ucheb. posobie dlya vuzov* [Moving & storage of rock mass: Studies. manual for schools], Nedra, Moscow, USSR.

4. Malyushetskiy, Yu.N. (1957), *Usloviya ustoychivosti bortov karerov* [Conditions for stability of pit walls], Izd-vo AN USSR, Kiev, USSR.

---

#### Об авторе

**Анисимов Олег Александрович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры Открытых горных работ Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет (ГБУЗ «НГУ»», Днепропетровск, Украина, [ipgpnm@gmail.com](mailto:ipgpnm@gmail.com).

#### About the author

**Anisimov Oleg**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Associate Professor of open-pit mining State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI “NMU”), Dni-propetrovsk, Ukraine, [ipgpnm@gmail.com](mailto:ipgpnm@gmail.com).

---

**Анотація.** У кар'єрах багатьох країн ведуть видобуток корисних копалин із застосуванням фронтальних навантажувачів з різною ємкістю ковша. Навантажувачі знаходять застосування при виконанні основних операцій з виїмки гірничої маси з вибою, її навантаження або транспортування на невеликі відстані. У процесі виїмки гірничої маси з вибою виникають обвалення підроблених розпушених гірських порід на рівні підшви вибою. Наведено типи обвалення підірваних порід у забої. Обвалення являє собою динамічний, порівняно швидкоплинний процес, що виникає в результаті порушення умов рівноваги між зсувними та стримуючими силами в підробленій екскаватором або навантажувачем підірваній масі. Виконано розрахунки висоти забою що відпрацьовується при роботі фронтального навантажувача. Висота вибою визначається, перш за все, вилученим матеріалом його фізико - механічними властивостями, іншими характеристиками. Отримані показники дозволяють виділити діапазон безпечної стійкої висоти укосу вибою для роботи навантажувачів.

**Ключові слова:** фронтальний навантажувач, висота вибою, стійкість порід, обвалення порід.

**Abstract.** Front loaders with different capacity of buckets are used in many countries-mineral producers. The loaders are used in basic operations: rock excavating from the face and handling or transporting for short distances. While rocks are excavated from the face, the undermined loosened rocks fall at the level of the face floor. The paper presents different types of the undermined rock falls in the face. The falling is a dynamic, relatively fleeting process, which occurs in result of disturbed equilibrium between the shearing forces and retentivity acting in the blasted rocks undermined by an excavator or loader. The author calculates a needed height of the undermining face for easy operation of the front loaders. The face height is primarily determined by the extracted material and its physical and mechanical properties and by other characteristics. The findings allow to specify a range of stable face slope heights for safety work of loaders.

**Keywords:** wheel loader, the height of the face, the stability of rock, collapsed rock mass.

Статья поступила в редакцию 19.09.2013  
Рекомендовано к публикации д.т.н. В.И. Симоненко