

4. Перспективные технологии открытой разработки сложноструктурных угольных месторождений // И. И. Цепилов, А. И. Корякин, В. Ф. Колесников, С. И. Протасов / Кузбасс. гос. техн. ун-т, – Кемерово, 2000. –186с.
5. Томаков П. И., Коваленко В. С. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса // М.: Уголь, 1992. – №1.
6. Корякин А.И. Определение основных технологических параметров карьера при проектировании / А.И. Корякин, А.В. Селюков / Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010, №2. С.66–68.
7. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров. – М.: Недра, 1971. – 650 с.
8. Закс Л. Статистическое оценивание / М.: Статистика, 1976. – 600с.

REFERENCES

1. Rzhevsky V.V., 1985. Technology and complex mechanization of open cast mining. Moscow Nedra Publishers, pp: 549.
2. Selukov A.V., 2015. About the technological significance of internal dumping in opencast mining of coal deposits in Kemerovo region. Physical-technical problems of mining. #5.
3. Kovalenko V. S., 1994. Technological aspects of the greening of open cast mining in the development of promising coal fields of Kuzbass. Questions of the theory of open mining works #1.
4. Tsepilov I.I., A. I. Koryakin, V. F. Kolesnikov, S. I. Protasov, 2000. Advanced technologies open development compound structure of coal fields. pp. 186.
5. Tomakov P.I., Kovalenko V.S., 1992. Environmental protection technologies open development of steep and inclined coal deposits of the Kuznetsk basin. Moscow. Coal, #1.
6. Koryakin A.I., Selukov A.V., 2010. Determination of main technological parameters career in the design . Vestnik (Herald) of Kuzbass State Technical University, # 2.
7. Rzhevsky V.V., 1971. The scientific foundations of open pit planning. Moscow Nedra Publishers, pp. 650.
8. Zaks L., 1976. Statistical estimation . Moscow. Statistics Publisher, pp.600.

Поступило в редакцию 22.08.2016

Received 22August 2016

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.232

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕНОГЕЛЕВОЙ ЗАБОЙКИ

JUSTIFICATION OF THE FOAM-GEL TAMPING DEVICE RATIONAL OUTPUT

Катанов Игорь Борисович¹,
докт. техн. наук, профессор, e-mail: noa-0025@yandex.ru

Katanov Igor B.¹,
Dr. Sc. (Engineering), Professor
Скачилов Пётр Геннадьевич²,
заместитель начальника участка, e-mail: petrskachilov@mail.ru
Skachilov Petr G.²,
Deputy Head of the Department, Mining Engineer

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

²АО «Междуречье», Россия, 652870, г. Междуреченск, ул. Кузнецкая, 1а

²JSC «Mezhdurechye», 1a street Kuznetskaya, Mezhdurechensk, 652870, Russian Federation

Аннотация: Описано техническое устройство для забойки взрывных скважин низкоплотным составом. Приведены результаты обоснования рациональной производительности установки. Экспериментальное применение установки с использованием низкоплотных составов для забойки скважин проведено в условиях АО «Междуречье». Низкоплотный состав заливают в оболочку. Производительность установки обеспечивает забойку скважин сразу после заряжания заряда ВВ. Такая конструкция заряда позволяет качественно улучшить эффективность запирания продуктов взрыва в зарядной камере, увеличить время воздействия продуктов детонации на массив, снизить выбросы пыли, повысить производительность экскаватора.

Abstract: A technical device for tamping of blast holes with low-density composition is described. The results of the justification of device rational output are given. Experimental applying of this device with using of low-density composition for holes tamping were carried in the open pit "Mezhdurechye". Low-density composition is poured into the shell. Device output provides a stemming of the holes immediately after the loading of the explosive charge. This construction allows to qualitatively improve the effectiveness of the explosion products locking in the charging chamber, increase the exposure time of the detonation products to a bench, reduce dust emissions, improve the excavator's output.

Ключевые слова: установка, производительность, пеногелевая забойка, взрывные работы, открытые горные работы, пылегазовые выбросы, экскаватор, скважина, взрыв, заряд ВВ, забойка, низкоплотный состав.

Keywords: device, output, foam-gel tamping, blasting, open pit mining, powder-gas blowout, excavator, hole, explosion, explosive charge, tamping, low-density composition.

Технико-экономические показатели технологических процессов добычи полезных ископаемых открытым способом в значительной степени предопределяются производительностью механизмов, занятых в том или ином технологическом процессе. При подготовке блока к взрыву, а именно заряжании взрывных скважин ВВ и их забойке, требуется рациональное соотношение производи-

тельности зарядных и забоевых машин. Время на заряжание одной скважины глубиной 15-18 м взрывчатым веществом составляет в среднем от 40 до 65 с. Поэтому забоевая машина должна обеспечивать заполнение незаряженной ВВ части скважины примерно за такое же время. Применяющиеся в настоящее время забоевые машины ЗС-1Б, ЗС-2 и другие предназначены для забойки

скважин твердым сыпучим материалом [1]. В качестве забоечного материала при механизированном способе забойки применяют бетон, щебень, песок, глину, отсев обогащения, шлак [2, 3]. В работах [4-6] доказывается эффективность использования пористых материалов, в т.ч. пенополиэтилена и древесных опилок в качестве забойки и заполнителя промежутка, рассредоточивающего заряд ВВ. В работе [7] выдвигается гипотеза о том, что из физических соображений наиболее высокими запирающими свойствами обладает утяжеленная жидкость с пузырьками воздуха. Близкий к такому физическому состоянию материал может быть создан, по мнению автора, при взрыве внутри столба жидкостной забойки небольшого заряда ВВ (активная забойка). Анализ результатов исследований показывает, что наличие промежутка из низкоплотных материалов в крупнозернистой забойке, в которой воздух содержится между зернами, придавая ей сжимаемость или небольшие воздушные промежутки в гидрозабойке (между ампулами), а также пузырьки газа в воде создают эффект задержки сдвига забойки и следовательно повышают время воздействия продуктов взрыва на массив. В работах [8, 9] доказана эффективность применения пеногелевой забойки, которая по сравнению с твердой забойкой [2, 3], водой и гидрогелем [10], обеспечивает увеличение времени запирания продуктов детонации в зарядной камере. Применение качественной забойки позволяет в целом повысить качество буровзрывных работ, что впоследствии оказывается как на росте производительности выемочных машин [15], так и на возможности дальнейшего использования взорванной вскрышной породы в различных целях [16].

Трудоемкость забоечных работ весьма высокая. На 1 т ВВ необходимо в среднем до 1,3 т твердой забойки. Поэтому преимущество пеногеля объясняется еще и тем, что даже при равных результатах качества дробления и снижения концентрации вредных примесей количество компонентов, необходимое для приготовления забойки при 3-6 кратном вспенивании, уменьшается во столько же раз.

В работах [2, 3, 11] доказывается, что запирающее действие забойки обеспечивает повышение давления в зарядной камере, а, следовательно, и условий для более полного протекания химических реакций, приводящих к повышению на 20-25 % полезной работы взрыва и снижению на 25-30 % выхода вредных газов. Особенно важным применение качественной забойки становится при использовании простейших аммиачно-селитренных ВВ с относительно небольшими скоростями детонации, которые требуют для передачи энергии в среду повышения длительности воздействия на нее продуктов взрыва.

Одним из параметров, характеризующих эффективность забойки, является ее величина. Реко-

мендуемая величина забойки $l_{заб}$ по условию полного охвата взрываемого массива дробящим действием заряда ВВ по данным некоторых исследователей приведена в табл. 1.

Таблица 1. Основные формулы определения величины забойки

№	Формула	Автор
1	$l_{заб} = 0,5 W$	Б.Н. Кутузов [1]
2	$l_{заб} = (0,7 \div 0,8) W$	М.Б. Эткин [12]
3	$l_{заб} = (15 \div 25) d_c$	Н.Я. Репин [14]
4	$l_{заб} = l_n + 2R/3$	А.В. Бирюков [13]

Примечание: W – линия сопротивления по подошве; $l_{зар}$ – длина заряда ВВ; d_c – диаметр скважины; R – радиус зоны дробления

Формулы 1 и 2 в табл. 1 рекомендуются для определения величины забойки в скважинных зарядах на рудных карьерах, а формулы 3 и 4 – на угольных разрезах. В работе [13] величина забойки учитывает толщину слоя породы, разрушенной без разрыхления в зоне перебора предыдущего взрыва.

В работе [17] установлено, что длина пеногелевой забойки должна обеспечивать опережение смещения массива в окрестности незаряженной части скважины относительно смещения расширяющихся продуктов детонации.

Обобщая опыт научно-исследовательских работ на Бачатском, Сибиргинском и Кедровском угольных разрезах Кузбасса по использованию низкоплотных пеногелевых материалов в конструкции скважинных зарядов, на АО «Междуречье» была смонтирована экспериментальная установка для пеногелевой забойки скважин. При разработке конструкции установки учитывались основные технические возможности [8, 9] и технологические требования производственников, в т.ч.:

- доступность исходных узлов и агрегатов при компоновке схемы;
- использование быстросъемных рассеивающих элементов в пеногелегенераторе;
- объем баков под компоненты должен обеспечивать возможность приготовления пеногелевой забойки не менее чем для 100 скважин;
- возможность подогрева растворов до температуры, обеспечивающей оптимальное качество пеногелеобразования;
- возможность подогрева растворов до температуры, обеспечивающей оптимальное качество пеногелеобразования;
- использование только одного источника энергии для подачи растворов пеногелеобразующих компонентов в смесительную камеру и производства пеногеля;

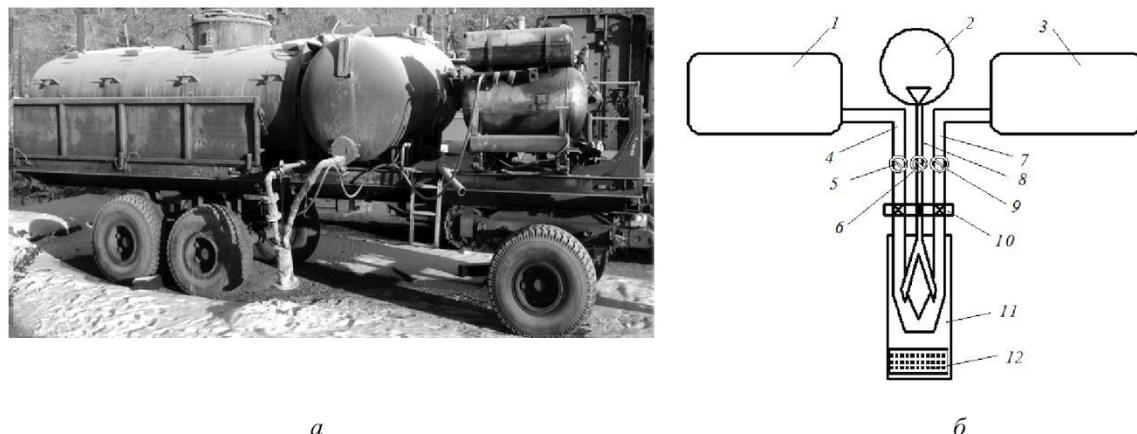


Рис. 1. Схема установки для пеногелевой забойки: а – общий вид; б – схема; 1, 3 – емкости; 2 – компрессор; 4, 7, 8 – трубопроводы; 5, 6, 9 – дроссели; 10 – кран; 11 – пеногелегенератор; 12 – сетки

- возможность изменения соотношения количества растворов, подаваемых в смеситель, в процессе забойки скважин;
- возможность дозаправки баков водой от карьерного водоотлива;
- высокая производительность установки по пеногелю (до 3 м³/мин);
- возможность использования установки в условиях пересеченной местности.

Реализуя указанные требования, на тракторном прицепе грузоподъемностью 12 т была смонтирована установка, схема которой представлена на рис. 1.

Установка состоит из двух баков 1 и 3, вместимостью соответственно 8 и 4 м³. Бак 1 соединен трубопроводом 4, а бак 3 трубопроводом 7 с пеногелегенератором 11, снабженным быстро-съемным пакетом сеток 12. На трубопроводах 4 и 7 установлены дроссели 5 и 9. Компрессор 2 через трубопровод 8 и дроссель 6 тоже соединен с пеногелегенератором 11. Баки 1 и 3 закреплены неподвижно на платформе и имеют в верхней части люки для подачи воды и химических компонентов. Вода для приготовления растворов используется из трубопровода карьерного водоотлива. Заполнение баков контролируется уровнями. Компрессорная станция ПВ-10/8М1, обеспечивающая процесс пеногелеобразования, имеет дизельный привод. Пеногелегенератор 11 закреплен на подвеске, которая имеет возможность регулировки по вылету относительно платформы и высоте подъема относительно поверхности земли. Пеногелегенератор 11 конструктивно выполнен в виде цилиндра, внутри которого установлены патрубки, соединенные с трубопроводами 4, 7 и 8 и через которые подаются растворы и сжатый воздух на пакет сеток 12 для генерации пены. Установка после заправки ее баков реагентами транспортируется трактором К-701.

Для обеспечения рациональной производительности установки по приготовлению пеногеля, количества которого достаточно для забойки

скважины после ее заряжания ВВ, необходимо установить затраты времени на цикл забойки.

Установка по забойке скважин пеногелем, как и другие машины, применяемые при буровзрывных работах, является машиной цикличного действия. В этом случае процесс забойки можно рассматривать как ряд технологических циклов, продолжительность которых состоит из суммарных затрат времени на отдельные операции. Предлагаемое конструктивное решение включает в себя следующие операции:

- наведение пеногелегенератора над устьем скважины ($t_{\text{н}} = 5 \div 10$ с);
- продолжительность передвижки от скважины к скважине ($t_{\text{пер}} = 10$ с);
- продолжительность забойки скважины пеногелем ($t_{\text{заб}}$, с) зависит от объема незаряженной ВВ части скважины (V_3 , м³), предназначенный под размещение забойки, который в свою очередь зависит от диаметра скважины (d , м), высоты столба забойки (h_3 , м) и кратности пеногеля (K), поэтому:

$$t_{\text{заб}} = \frac{K\pi d^2 h_3}{Q_k},$$

где Q_k – производительность установки при соответствующей кратности пеногеля.

Таким образом, продолжительность технологического цикла установки по забойке скважин пеногелем определяется:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{пер}} + \frac{K\pi d^2 h_3}{Q_k},$$

Эксплуатационная сменная производительность установки по приготовлению пеногеля и забойки им некоторого количества взрывных скважин может быть определена исходя из технической производительности с учетом затрат времени на основные и вспомогательные операции без учета внеплановых простоев:

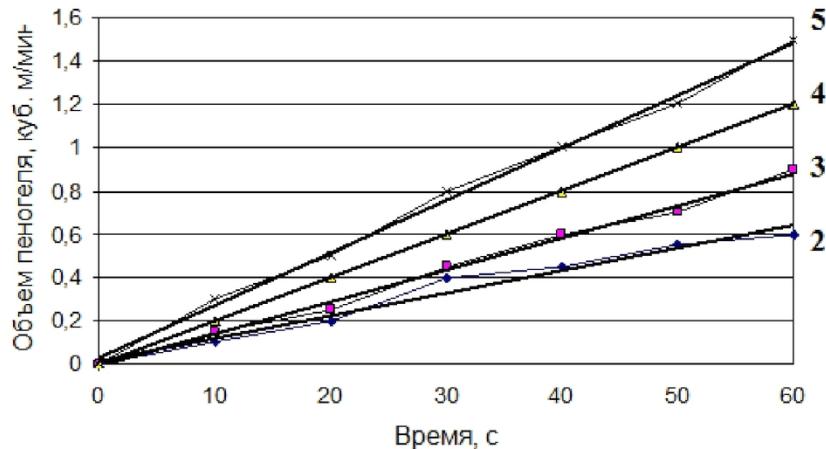


Рис. 2. Изменение производительности установки (цифрами указаны значения кратности пеногеля)

$$Q_{\text{см}} = \frac{60(T_{\text{см}} - T_{\text{п.з}} - T_p)}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{см}}$, $T_{\text{п.з}}$, T_p – продолжительность смены, времени на подготовительно-заключительные операции и регламентируемые перерывы, ч.

Для верификации производительности установки в производственных условиях необходимо провести регулировку расхода компонентов.

Зная количество пеногеля, необходимого для забойки одной скважины, регулируются расходы компонентов пеногелеобразующих веществ и сжатого воздуха. Для этого необходимое количество компонента № 1, вытекающего из бака 1 в течение 60 с, регулируется при помощи дросселя 5. Расход контролируется по изменению уровня раствора в баке, а время замеряется секундомером. Аналогично при помощи дросселя 9 регулируется расход компонента № 2 из бака 2.

Регулировка количества сжатого воздуха обусловлена изменением соотношения объемов получаемого пеногеля с кратностью от 2 до 5 к суммарному объему компонентов № 1 и № 2. Последовательное изменение количества сжатого воздуха, подаваемого в систему, позволяет получить пеногель требуемой кратности. Объем полученного пеногеля определяется в мерной емкости. После регулировки расходов перекрывается кран 10. Устройство готово к осуществлению забойки скважин пеногелем.

На основании экспериментальных данных определена техническая производительность установки по приготовлению пеногеля (рис. 2).

Анализ графиков показывает, что при изменении кратности пеногеля в интервале от 2 до 5 за 60 с можно получить от 0,6 до 1,5 м³ пеногеля. Линейное изменение производительности установки, как объем пеногеля, образующийся в единицу времени с кратностью пеногеля 2-5 аппроксимируется соответствующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= 0,1054t - 0,0929; \\ Q_3 &= 0,1482t - 0,1571; \\ Q_4 &= 0,2t - 0,2; \\ Q_5 &= 0,2429t - 0,2143. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Проверка работоспособности установки проводилась в условиях угольного разреза АО «Междуречье». Ввиду обводненности вскрышных пород, блоки (гор.322 и гор.314) были заряжены комбинированными зарядами. Нижняя часть заряда формировалась эмульсионным ВВ (эмулит ПВВ-В), а верхняя – гранулированным ВВ (гранулит ПС-2).

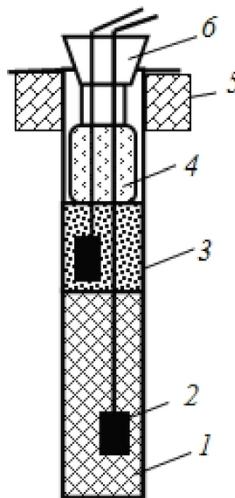


Рис. 3. Конструкция скважинного заряда с пеногелевой забойкой:

- 1 – заряд эмульти ПВВ-В; 2 – шашка; 3 – заряд гранулита ПС-2; 4 – пеногель в рукаве;
- 5 – зона интенсивной трещиноватости массива;
- 6 – воронка с рукавом (УВП-4)

Анализ работы [9] показал, что при формировании пеногелевой забойки трещиноватых масси-

вах высота столба пеногеля уменьшается на 1,5–2 м. Это обстоятельство объясняется стойкостью пены и растеканием пеногеля по зоне интенсивной трещиноватости вокруг скважины. Для устранения этого явления в конструкцию скважинного заряда были внесены изменения. На верхнем блоке (гор. 322) после заряжания скважин ВВ в устье были установлены устройства для создания воздушного промежутка (УВП-4), представляющие собой полиэтиленовые рукава, и в которые заливался пеногелевый забоечный материал (рис. 3).

Технология пеногелевой забойки скважин заключается в последовательном выполнении ряда операций. По команде рабочего, осуществляющего забойку скважин, тракторист перемещает забоечную установку к устью скважины. После наведения пеногелегенератора 11 над устьем скважины, рабочий включает при помощи крана 10 подачу реагентов и сжатого воздуха. Происходит генерация пеногеля, который заполняет рукав УВП-4. Производится забойка скважины на высоту, не превышающую зону интенсивной трещиноватости от предыдущего взрыва вышележащего горизонта. В проведенном эксперименте забойка одной скважины осуществлялась в течение 40 с. Высота забойки составляла примерно 3 м. Объем забоечного материала в одной скважине составил примерно 0,6 м³. Суммарный расход водных растворов компонентов в условиях эксперимента составил 0,18 м³ (при плотности забоечного материала 0,3 т/м³). Время на вспомогательные операции составили примерно 20 с. После забойки скважины, рабочий перекрывал кран 10 подачи компонентов и руководил переездом установки к устью следующей скважины.

Таким образом, экспериментально установлено, что производительность установки по забойке скважин пеногелем должна быть соизмерима с производительностью зарядной машины. Хроно-

метражные наблюдения за выполнением операций в течение цикла забойки позволили установить достоверность затрат времени, включенных в формулу (2).

Ввиду отсутствия на разрезе забоечных машин, для сравнения эффективности результатов забойки скважин, на нижнем блоке (гор. 314) она была выполнена буровой мелочью вручную. Время на забойку одной скважины в этом случае увеличилось примерно в два раза.

После забойки всех скважин осуществлялся монтаж поверхностной взрывной сети и проводился взрыв.

Результат проведения экспериментального взрыва с разделением блока на экспериментальную и контрольную части показал, что высота подъема пылегазового облака (ПГО) при твердой забойке достигает 100–110 м. Это в 1,5–2,0 раза больше по сравнению с высотой ПГО при пеногелевой забойке. Величина удельной массы пыли, осевшей в пределах 50 м от взрыва при пеногелевой забойке, составляет более 94% всей мелкодисперсной пыли, а при твердой забойке это расстояние достигает 90 м, причем ПГО при пеногелевой забойке визуально значительно менее плотное, а его белый цвет означает наличие паров воды (рис. 4).

Фотопланограмма поверхности раз渲ала горной массы с мерной лентой позволила оценить качество дробления породы [13]. Размер максимальных кусков составил при взрывах с твердой забойкой около 1,2 м, при этом средний диаметр кусков породы на поверхности раз渲ала составил 0,7 м, а на блоках с пеногелевой забойкой эти величины соответственно составили 1,0 м и 0,6 м. Повышение качества подготовки горной массы к выемке обеспечивает повышение производительности экскаваторов и более комфортные условия работы.

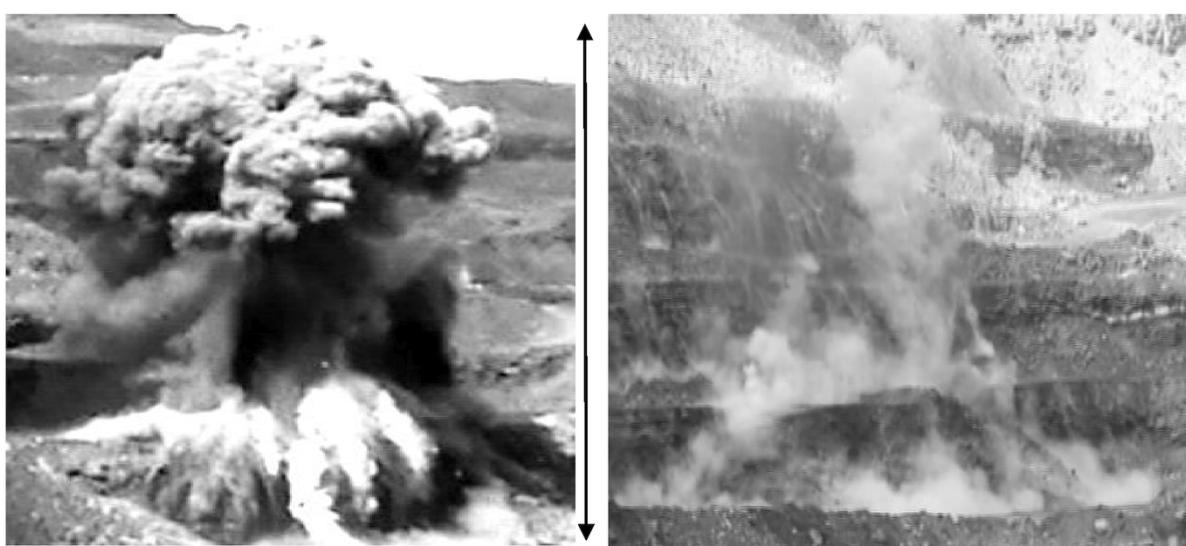


Рис. 4. Высота подъема ПГО (H_{nzo}) через 30 с после взрыва:
а – с забойкой скважин буровой мелочью; б – с пеногелевой забойкой