

УДК 536.46+662.611/612

*д.т.н. Харламов Ю. А.,  
к.т.н. Петров П. А.,  
к.т.н. Козачишен В. А.,  
к.т.н. Изюмов Ю. В.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)*

## **ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ. СООБЩЕНИЕ 2. ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ В ДОБЫВАЮЩИХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Во втором сообщении кратко описано применение детонационно-газовых технологий и устройств в геологии, нефтедобывающей и горно-металлургической отраслях промышленности. Детонационно-газовые источники сейсмических колебаний используются при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, в инженерно-геологических и гидроакустических исследованиях. Газовая детонация может использоваться для увеличения конечной нефтеотдачи пластов и дебита скважин, взрывоимпульсного разрушения горных пород, газо-взрывного измельчения, создания энергосберегающих горелочных устройств и др.*

***Ключевые слова:** бульдозеры, газовые горелки, защитные покрытия, измельчение, очистка поверхностей нагрева, сейсморазведка, скважины.*

**Применение ГД в геологии и при разведке недр.** В сейсморазведке установки газовой детонации используют для возбуждения упругих колебаний с поверхности земли за счет взрыва газовой смеси в замкнутых, способных к расширению объемах взрывных устройств. Газовзрывная смесь заполняет цилиндр с подвижной нижней стенкой — поршнем или диафрагмой. Такой цилиндр прижимают к поверхности автомашиной, на которой смонтирован источник. В заданный момент времени по команде с сейсмостанции газ поджигают, и происходит его взрывообразное сгорание, при котором объем газа резко возрастает. Газ под большим давлением резко давит на поршень или мембрану и, поскольку движение цилиндра вверх затруднено инертной массой автомобиля, давление передается на грунт, в место его контакта с рабочим органом газовзрывного источника. Известны также установки газовой детонации, в которых продукты детонации выбрасываются в воду, возбуждая в ней упругую волну. Источники сейсмических колебаний используются при поис-

ках и разведке месторождений полезных ископаемых, инженерно-геологических и гидроакустических исследованиях [1].

Разработано достаточно много детонационно-газовых устройств для сейсмической разведки и воздействия на коллекторы для создания многократно повторяющихся импульсных сейсмических сигналов в плотных горных породах с возможностью многократного повторения через заданные промежутки времени. Обычно эти устройства содержат скважину, пакер, установленный в скважине, через который проходят дренажная труба, топливная магистраль и линия передачи детонации. Скважина бурится в плотных, горных породах ниже зоны малых скоростей, где установлен пакер. Он ограничивает рабочий объем скважины между ним и концом дренажной трубы [1].

Для подводной сейсморазведки в подлёдных акваториях также могут применяться газовзрывные источники, использующие контролируемую детонацию газовой смеси в эластичных оболочках и взрывных камерах (например, смеси кислорода с пропаном, ацетиленом или водородом) [2].

Для решения целого ряда задач требуется генерация мощных импульсов в жидкой среде при высоком давлении, например, для зондирования поверхности дна мирового океана с целью обнаружения залежей полезных ископаемых. Мощные импульсы давления создаются в нефтяных скважинах для очистки отверстий, через которые поступает нефть. В большинстве этих задач генератор импульсов должен находиться на большой глубине и функционировать при давлениях окружающей среды в несколько сотен атмосфер. В качестве источников таких импульсов применяются небольшие заряды взрывчатых веществ, что требует специального лицензирования на хранение и применение, либо используется эффект взрывающихся проволочек, испаряющихся при пропускании через них тока от конденсаторных накопителей. При этом для получения значимых энергий разряда нужны конденсаторы емкостью порядка сотен микрофарад и напряжения в несколько тысяч вольт, что создает серьезную опасность при использовании их во влажной среде. Энергия импульса в этом случае имеет порядок 1000 Дж. Разработан способ генерации импульсов давления, основанных на запасании химической энергии стехиометрической смеси водорода и кислорода, получаемых электролизом на глубине при высоком давлении [1]. Относительно небольшое увеличение энтальпии смеси даже при давлении  $10^8$  Па приводит к увеличению напряжения разложения воды на 0,16 В, что практически не сказывается на характеристиках электролизера. Изменяя объем камеры детонации от  $0,5 \text{ см}^3$  до  $500 \text{ см}^3$ , можно получить энергию импульса на глубине 2 км в диапазоне от 800 Дж до  $8 \times 10^5$  Дж.

**Применение ГД в нефтегазовой промышленности.** Нефтяные компании проявляют все возрастающий интерес к воздействию на нефтяные пласты с помощью знакопеременных давлений различной частоты и интенсивности. Объектом воздей-

ствия могут быть как пласт в целом, так и призабойная зона пласта. В случае снижения дебита газоконденсатной скважины объектом воздействия, очевидно, должна быть зона, расположенная в первых метрах от забоя, поскольку именно здесь происходит накопление ретроградного конденсата. Одним из перспективных методов технологического воздействия на призабойную зону газоконденсатного пласта является использование для разрушения конденсатных пробок детонационных и ударных волн [3]. Падение давления от внутрипластового до давления на коллекторе происходит в достаточно узкой области (порядка нескольких метров). При снижении дебита для разрушения конденсатной пробки в зоне продуктивной скважины можно осуществлять кратковременное воздействие на углеводородную внутрипластовую систему детонационными волнами, которые генерируются химическим путем в устье скважины. Оценки показывают, что давление, создаваемое ударной волной, убывает обратно пропорционально расстоянию. При начальном десятикратном перепаде давления (80 МПа на фронте ударной волны) падение давления до 16 МПа происходит на расстояниях нескольких десятков метров, что позволяет использовать воздействие пакетов импульсов детонационных волн на углеводородную систему с целью разрушения конденсатной пробки и возвращения системы в исходное однофазное состояние. Характерное время воздействия на несколько порядков меньше, чем время образования конденсатной пробки.

Источником импульсного воздействия на газоконденсатный слой может служить детонационная камера сгорания, генерирующая ударные волны различной интенсивности. Возможно использовать в качестве горючего углеводороды, которые могут добываться непосредственно в процессе эксплуатации скважины, а окислитель — кислород или воздух. В зависимости от интенсивности ударной волны заметное

воздействие на газоконденсатную пробку оказывается на расстоянии  $5 \div 20$  м от устья скважины, при этом температура пористой среды может повышаться на  $15 \div 30$  градусов. Воздействие последующих ударных волн усиливается, поэтому разрушение газоконденсатной пробки может достигаться как за счет интенсивности, так и количества генерируемых ударных волн.

Увеличение конечной нефтеотдачи пластов и дебита скважин обеспечивается повышением проницаемости (созданием разветвленной сети трещин) зоны продуктивного нефтяного пласта, нефтеотдача которого затруднена или полностью прекратилась из-за высокой вязкости нефти (патент РФ № 2200833). Для этого в скважину устанавливаются пакер и дренажную трубу. Образующийся рабочий объем от пакера до нижнего конца дренажной трубы заполняют смесью воздуха и горючего газа. При распространении детонационной волны вдоль участка скважины, заполненного воздушно-газовой смесью, в массив горной породы излучаются в основном поперечные сейсмические волны высокой интенсивности, которые воздействуют на коллекторы углеводородов. После окончания детонации производят продувку рабочего объема воздухом, после чего цикл повторяют. Минимальная длительность полного цикла составляет около 10 с. Таким способом осуществляют длительную серию интенсивных воздействий на трещиноватый пласт-коллектор углеводородов.

Для сжигания сбросных газов и многофазных систем промышленных стоков на газовых и нефтяных месторождениях и на предприятиях нефтяной, химической и нефтехимической отраслей промышленности эксплуатируются факельные установки высотного и наземного типа. Для повышения надежности розжига газовых горелок факельных устройств и снижения энергозатрат при термической утилизации токсичных продуктов производства разработан способ газодинамического розжига газовых горелок факельных устройств,

включающий приготовление стехиометрической газовой смеси и инициирование детонационного горения (патенты РФ № 2294485 и 2324111).

Широкую область применения в нефтегазовой промышленности могут найти защитные и функциональные покрытия, получаемые методом детонационно-газового напыления. Высокие механические и эксплуатационные свойства покрытий показали их эффективность для упрочнения шарошек трехшарошечных и алмазных буровых долот [4]. Достижимый эффект (при толщине покрытия 200 мкм) — существенное повышение абразивной стойкости бурового инструмента, практически полное исключение выпадения породоразрушающего вооружения при работе на забое, снижение отказов по причине растрескивания шарошек. Выявленная при испытаниях высокая фрикционная совместимость пары трения «твердосплавное детонационное покрытие — серебряное покрытие» нашла применение при изготовлении дисков разгрузки центробежных насосов. При этом на рабочую поверхность одного диска наносится твердосплавное покрытие, а на рабочую поверхность другого — антифрикционное серебряно-алмазное покрытие. На предприятиях нефтегазового комплекса детонационные покрытия можно широко использовать для быстрого и качественного восстановления дорогостоящих элементов технологического оборудования и оснастки. Наблюдается расширение объемов применения детонационно-газового упрочнения для других видов деталей.

Энергия взрыва широко применяется для перфорации нефте- и газодобывающих скважин. Для этих целей в подавляющем большинстве случаев применяются кумулятивные заряды (КЗ). Для повышения пробивной способности КЗ в СамГТУ предложен принципиально новый способ изготовления многослойных кумулятивных облицовок (КО), основанный на нанесении покрытия из высокоплотного порошкового материала детонационным способом на ме-

таллическую заготовку (облицовку) [5]. Экспериментально подтверждено, что такие заряды кумулятивных перфораторов обладают повышенной пробивной способностью. Дальнейшее повышение пробивной способности КЗ может быть связано с применением для КО ряда перспективных материалов, например, молибдена. В этом случае потенциал увеличения глубины пробития преград достигает 35 %.

**Применение ГД в горной промышленности. Взрывоимпульсное разрушение горных пород.** Газодинамические импульсы, возникающие при детонации топливовоздушных смесей, используются в прямоточных устройствах для разрушения и выброса тяжелых грунтов. На бульдозерном отвале устанавливаются камера сгорания и нож с выхлопными отверстиями. Через патрубков в камеру подается топливовоздушная смесь, которая воспламеняется свечой при срабатывании датчика [6, 7]. Перспективным для глубокого рыхления почвогрунтов является применение интенсификаторов газодинамического действия. Рыхлитель присоединен к трактору с помощью навески. Зуб рыхлителя в верхней части снабжен камерой сгорания с центральным каналом, который заканчивается в наконечнике зуба. Камера сгорания и канал имеют форму, обеспечивающую создание детонационной ударной волны, распространяющейся вдоль по каналу после воспламенения горючей смеси [6, 7]. Ударная волна и следующий за ней из прямоточной трубы газодинамический поток способны разрушать горные породы и тяжелые грунты.

Бульдозер с поворотно-взрывным устройством отличается от обычного наличием камеры сгорания, которая размещается внизу с тыльной стороны отвальной поверхности. На базовом тракторе дополнительно устанавливается компрессор, топливная и регулирующая аппаратура, обеспечивающая подачу топлива и сжатого воздуха в камеру сгорания, а также воспламенение образующейся горючей смеси бензина (или дизельного топлива) и воздуха с

определенной повторяемостью [6, 7]. Смесь воспламеняется запальной свечой. Процесс, происходящий после воспламенения, подобен работе двигателя внутреннего сгорания. Грунт при этом выполняет функции поршня. Под действием газов высокого давления, проходящих после воспламенения смеси через отверстия в нижней части отвала, грунт отбрасывается от отвальной поверхности вверх и вперед и в меньшей степени — в стороны. Экспериментальная модель бульдозера с однокамерным взрывным устройством, созданная в США, испытывалась на разработке траншеи шириной 3,05 м и глубиной 1,52 м в грунтах средней крепости и обеспечила производительность 1500 м<sup>3</sup>/ч при скорости движения около 3,22 км/ч. При этом производительность обычного тяжелого бульдозера — 500 м<sup>3</sup>/ч.

Бульдозеры с газоимпульсным рабочим органом могут выполнять следующие работы [7]: отвалообразование при железнодорожном и автомобильном транспорте, эффективность перемещения разрыхленной горной массы подтверждена экспериментально; профилировка внутренних и внешних отвалов при их рекультивации, когда наиболее эффективно используются технические возможности газоимпульсного бульдозера; рыхление плотных грунтов (глин), плохо поддающихся непосредственному размытию гидроспособом (использование газоимпульсного бульдозера позволяет заменить малопродуктивное горное оборудование, применяемое в настоящее время для этих целей, повысить эффективность и расширить область применения гидравлического способа, повысить производительность гидравлических установок более чем в 2 раза по сравнению с обычными приемами гидромеханизации, а расход электроэнергии снизить в 2,5 раза); проходка нагорных канав и траншей; устройство съездов; концентрация горной массы на горизонте. При отработке породного массива высокими уступами можно высвободить дорогостоящее экскаватор-

ное оборудование, более высокая мобильность газоимпульсного бульдозера не требует устройства специальной трассы для его перемещения.

Разработаны рыхлители взрывоимпульсного действия (а. с. СССР № 1304465), в которых энергия детонации в виде выхлопных газов передается по каналам основной и дополнительной рыхлительных стоек с зубьями газодинамического действия. Взрывные потоки направлены под углом внутреннего трения к горизонтальной и вертикальной продольной плоскостям. Такое направление выхлопных газов создает минимальное усилие скола грунтовых элементов, а пересечение двух взрывных потоков обеспечивает не только минимальную энергоемкость процесса, но также снижает поперечные и продольные динамические нагрузки, передаваемые на базовую машину. Кроме того, выдвигаемые клинья снижают отдачу выхлопных газов на базовую машину.

**Термодетонационное разрушение горных пород.** Существенный прогресс в технологии добычи и обработки крепких горных пород из гранитов был достигнут после появления огнеструйного (термического) способа разрушения горных пород. Внедрение терморезаков для отрезных и врубных щелей в гранитных карьерах коренным образом изменило технологию добычи гранитов, что позволило увеличить в 2÷2,5 раза выход блочного камня и значительно повысить его качество [8]. С увеличением ударного импульса струи (механической составляющей) разрушение горных пород протекает интенсивнее, и вероятность оплавления забоя уменьшается. Величина ударного импульса струи пропорциональна квадрату его скорости, а значительное увеличение динамической составляющей скорости струи можно получить, используя явление детонации. Разработан термодинамический бур [8], в котором детонационный эффект достигается за счет возбуждения стационарного скачка уплотнения (ударной волны) в начале ос-

новного участка сверхзвуковой, обогащенной горючим компонентом газовой струи горелки путем ее трения о шероховатости внутренней поверхности насадка и контакта с холодным эжектируемым воздухом и введения в него с целью интенсивного (детонационного) горения недостающего эжектируемого обогащенной горючим струей через перфорационные каналы насадка окислителя. Обогащение горючим сверхзвуковой струи производится через форсуночный аппарат горелки в пределах 15÷20 % от основного расхода при работе горелки без насадки. Газовый поток горелки подогревает избыточное горючее (до 1500÷1800 °С), которое, реагируя с окислителем, поступающим через перфорацию насадка из атмосферного воздуха, и за счет сверхзвуковых химических реакций и мгновенного тепловыделения в скачке уплотнения, снова разгоняется в цилиндрическом насадке до сверхзвуковой скорости, образуя мощный поток раскаленных газов повышенной интенсивности, скорости и массового расхода.

Таким мощным термодинамическим рабочим органом снабжена конструкция машины для проведения щелевых выработок при добыче гранитных блоков [9].

**Газовзрывное измельчение.** Ведутся работы по созданию газодинамических мельниц (ГДМ), принцип действия которых заключается в ускорении порции кусков измельчаемого материала продуктами взрыва смеси газов (горючее и окислитель) и последующем их измельчении при ударном торможении [10]. Ранее были разработаны способы дробления сверхтвердых трещиноватых материалов, преимущественно природных алмазов (а. с. СССР № 669531 и 913638). Отличительной особенностью ГДМ является полный отказ от использования электроэнергии для процесса измельчения; энергоносителем является горючий газ, например, природный. Стоимость энергии, выделяющейся при сгорании природного газа, существенно меньше стоимости электроэнергии.

В импульсной взрывоструйной мельнице генераторы энергоносителя выполнены в виде газодетонационных камер [11]. Установка по патенту РФ № 2154533 состоит из помольной камеры, соосно расположенных и направленных навстречу друг другу детонационных цилиндрических камер, снабженных пневматическими питателями, свечами поджига с блоком высокого напряжения и узлами подачи горючей газовой смеси, регулируемые в синхронном режиме блоком управления посредством электроклапанов. Эффект измельчения, получаемый при детонации горючей газовой смеси, обеспечивается высоким давлением и температурой продуктов детонации. Продукты детонации, образовавшиеся в двух полузамкнутых камерах и направленные навстречу друг другу, дают возможность повысить скорость измельчаемых порошкообразных материалов во встречных потоках. При детонации горючей газовой смеси в детонационной камере частицы материала на некоторое время оказываются в области высокого давления, где под его действием сжимаются, затем происходит резкое уменьшение импульсного давления, и частицы, ранее сжатые, под действием внутренних напряжений самоизмельчаются.

**Применение ГД в металлургической промышленности.** *Импульсно-детонационные газовые горелки для промышленных печей и теплоэнергетических установок (ГИДС).* По сравнению с традиционными горелочными устройствами ГИДС обладают следующими преимуществами [7]:

- возможность полного отсутствия кислорода в выходном факеле, что крайне важно для некоторых технологических процессов (например, при выплавке вторичного алюминия);

- сжигание смеси с высокой полнотой реакции внутри горелочного тракта в режиме детонации формирует высокоскоростную и дальнобойную струю горячих и плотных продуктов детонации, что обес-

печивает не только термическое, но и механическое воздействие на нагреваемый объект;

- концентрация оксидов азота в продуктах сгорания в 2–3 раза меньше;

- в качестве окислительного газа допускается использование чистого кислорода или воздуха, обогащенного кислородом, что позволяет повысить температуру и скорость продуктов сгорания на выходе, а также использовать сильно обедненные горючим кислородные смеси для эффективного использования в операциях кислородного дутья;

- возможность подачи кислорода в нагреваемый продукт в нужный момент (в виде скоростной высокотемпературной струи), а на другом технологическом этапе — полностью исключить попадание кислорода в зону нагрева, вплоть до создания инертной среды;

- регулируемое избыточное давление продуктов горения в выходном сечении позволяет отказаться в различных технологических процессах от оборудования, обеспечивающего перемешивание нагреваемых продуктов;

- экономический эффект, обеспечиваемый снижением удельного расхода природного газа не менее чем на 8÷10 % (до 185 м<sup>3</sup>/час при мощности 2÷2,5 МВт), увеличением скорости и, соответственно, снижением времени процесса нагрева, уменьшением потерь на окисление, оптимизацией использования производственных площадей, увеличением срока службы горелки, уменьшением затрат на экологические мероприятия и пр.

ГИДС перспективны для промышленного применения:

- в сталеплавильной отрасли (производство стали в электродуговых печах). ГИДС при использовании кислорода позволяют существенно снизить объем потребляемого природного газа и сократить выбросы оксидов азота;

- при вторичной обработке алюминия можно избежать попадания кислорода и

фактически избежать образования окалины, что позволит увеличить объем и рентабельность производства в несколько раз;

– *утилизация отходов*, принципиальная возможность создания установок, реализующих механизм ликвидации диоксинов и решающих проблему выпуска шлака;

– *обжиг извести, кирпича и т. д.* Применение ГИДС обеспечивает обдув садки кирпичей скоростной струей продуктов сгорания, мощная конвективная составляющая струи позволит избежать застойных зон и обеспечить быстрый равномерный нагрев садки. Сокращение времени нагрева позволит значительно увеличить производительность и уменьшить расход газа до 10 %.

**Высокоскоростные энергосберегающие горелочные устройства.** Разработаны конструкции горелочных устройств на базе сопла с центральным телом типа ГГТ (горелка газовая турбулентная) и ГЦТ (горелка с центральным телом), использующие кроме «нормального» горения элементы детонационного горения. Это достигается за счет образования пересекающихся скачков уплотнения с созданием мощной волны (ударной адиабаты или адиабаты Гюгонио), приводящей к уско-

ренному нагреву смеси. Многолетняя эксплуатация горелочных устройств в производстве металлургической извести во вращающихся печах доказала их значительную экономическую эффективность [12].

*Прочие применения:* очистка поверхностей нагрева котлов-утилизаторов [13, 14]; детонационно-газовое напыление защитных и восстановительных покрытий на инструменты и детали оборудования; импульсная резка горячего и холодного металла, применяемая для разделения на части сортовых горячих стальных заготовок на машинах непрерывного литья, в прокатном производстве.

#### **Выводы:**

1. Газовая детонация является эффективным технологическим источником энергии для реализации импульсных термомеханических воздействий при выполнении основных и вспомогательных операций в добывающих и перерабатывающих отраслях промышленности.

2. Следует считать целесообразным расширение НИОКР по детонационно-газовым технологиям и устройствам, обобщение накопленного опыта их внедрения в различных областях науки и техники и координацию этих работ.

#### **Библиографический список**

1. Свинцов, И. С. *Разработка метода возбуждения сейсмических волн в массиве горных пород газовым взрывом в скважине [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук : 25.00.10 / И. С. Свинцов. — Москва, 2006. — 133 с.*

2. *Концепция роботизированной подводной сейсморазведки в подлёдных акваториях [Текст] / Б. А. Гайкович, В. Ю. Занин, В. С. Тарадонов и др. ; АО «НПП ПТ „Океанос“» // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа. — М. : Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технологии развития», 2018. — С. 64–86.*

3. *Разработка физических методов повышения продуктивности газоконденсатных месторождений : отчет о НИР (закл.). — М. : Объединенный институт высоких температур РАН, 2007. — 55 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://jiht.ru/science/scientific\\_programs/ftsp/reports%20FCP-2013/Отчет%202007-02.515.11.5039%20текст.pdf](https://jiht.ru/science/scientific_programs/ftsp/reports%20FCP-2013/Отчет%202007-02.515.11.5039%20текст.pdf).*

4. *Разработка перспективных детонационных технологий для нефтегазовой промышленности [Текст] / В. В. Калашников, Д. А. Деморецкий, Д. А. Ненашев, О. В. Трохин // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. — 2012. — № 4. — С. 335–347.*

5. *Детонационный способ и технология изготовления многослойных облицовок зарядов кумулятивных перфораторов [Текст] / В. В. Калашников, Д. А. Деморецкий, М. В. Ненашев и др. //*

Вестник Самарского государственного технического университета. Серия : Технические науки. — 2011. — № 3 (31). — С. 213–218.

6. Павлюк, А. С. Методы снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин / А. С. Павлюк, Д. В. Сотников // Ползуновский вестник. — 2014. — Т. 1. — № 4. — С. 8–13.

7. Взрывоимпульсное разрушение горных пород. — М. : Наука, 1979. — 230 с.

8. Поветкин, В. В. Разработка термодинамического бура для разрушения крепких горных пород [Текст] / В. В. Поветкин, М. Ф. Керимжанова, А. З. Букаева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. — 2017. — № 4 (59). — С. 56–63.

9. Поветкин, В. В. Термодинамический рабочий орган для проведения щелевых выработок при добыче гранитных блоков [Текст] / В. В. Поветкин, М. Ф. Керимжанова, А. В. Поветкин // Горный журнал Казахстана. — 2014. — № 12. — С. 30–32.

10. Войтенко, А. Е. Экспериментальные исследования газодетонационного измельчения [Текст] / А. Е. Войтенко, В. Ф. Ганкевич, В. П. Мелихов // Обогащение полезных ископаемых : научно-технический сборник. — Днепропетровск : НГАУ, 1998. — Вып. 1 (42). — С. 147–158.

11. Уваров, В. А. Возможности газодетонационного способа измельчения материалов [Текст] / В. А. Уваров, А. Н. Потапенко // Изв. вузов. Строительство. — 2000. — № 9. — С. 42–44.

12. Коццев, В. В. Высокоскоростные энергосберегающие горелочные устройства известняковообжигающих вращающихся печей [Текст] / В. В. Коццев // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова, 2013. — № 3. — С. 95–97.

13. Методы наружной очистки котлов-утилизаторов [Текст] / Я. М. Щелоков, Э. М. Телегин, В. Н. Подымов, В. И. Гасников. — Казань : Изд-во КГУ, 1974. — 213 с.

14. Щелоков, Я. М. Очистка поверхностей нагрева котлов-утилизаторов [Текст] / Я. М. Щелоков, А. М. Аввакумов, Ю. К. Сазыкин. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 160 с.

© Харламов Ю. А.

© Петров П. А.

© Козачишен В. А.

© Изюмов Ю. В.

Рекомендована к печати д.т.н., доц., зав. каф. ММК ДонГТИ Вишневским Д. А., д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Ерньюк С. П.

Статья поступила в редакцию 25.02.2022.

**Doctor of Technical Sciences Kharlamov Yu. A., PhD in Engineering Petrov P. A., PhD in Engineering Kozachishen V. A., PhD in Engineering Izumov Yu. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR)**  
**DETONATION-GAS TECHNOLOGIES AND DEVICES: STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT. REPORT 2. APPLICATION OF GAS DETONATION IN EXTRACTIVE AND METALLURGICAL INDUSTRIES**

*The second report briefly describes the use of detonation-gas technologies and devices in geology, oil production and mining and metallurgical industries. Detonation-gas sources of seismic vibrations are used in the search and exploration of mineral deposits, in engineering-geological and hydroacoustic studies. Gas detonation can be used to increase the final oil recovery and flow rate of drill holes, explosive-pulse destruction of rocks, gas-explosive grinding, creation of energy-saving burner devices, etc.*

**Key words:** bulldozers, gas burners, protective coating, chopping, cleaning of heating surface, seismic exploring, drill holes.