

УДК 622.35

DOI: 10.52531/1682-1696-2024-24-1-67-74

Научная статья

# МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОГО ПИСТОЛЕТА ДЛЯ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

В.Т. Федоров<sup>1</sup>, М.Н. Кокоев<sup>2</sup><sup>1</sup> Концерн «Наноиндустрия», Москва,  
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ<sup>2</sup> КАБАДИНО-БАЛКАРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Х.М. БЕРБЕКОВА, НАЛЬЧИК,  
КАБАДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Была исследована возможность механизации работы клиньев для добычи природного камня. Цель – снизить вес клиньев до нескольких кг и уменьшить диаметр шпуров в камне, куда вставляются клинья. Вес используемого одного гидроклина 26 кг, не считая веса гидронасоса с напорными шлангами. Среди вариантов механизации работ по добыче камня с помощью клиньев рассмотрены следующие подходы – использование электрогидравлического эффекта; применение испарения жидкого азота в замкнутом объеме; использование электромеханического привода клиньев. Выбран четвертый вариант – модернизация строительного монтажного пистолета под новую задачу. Сделан расчет модернизированного монтажного пистолета. Расколоть крупный каменный блок могут несколько монтажных пистолетов под винтовочный патрон 7,62 × 54,00 мм с зарядом флегматизированного пороха. В каменном блоке сверлятся шпуры, куда вставляются клинья. Приняты меры для компенсации отдачи пистолетов. Выстрел – и клинья, существенно крупнее дюбеля, раскалывают камень. Клинья многоразовые. Одновременность срабатывания нескольких пистолетов обеспечивается электроспусками от одной цепи. Модернизированный пистолет вместе с электроспуском для добычи камня может иметь массу до 3,5 кг. Обсуждаются технические детали предложения.

**Ключевые слова:** добыча природного камня, гидроклин, модернизация, строительный монтажный пистолет, заряд пороха

## ВВЕДЕНИЕ

В атмосфере крупных городов, содержащих соединения агрессивных газов, наружная облицовка зданий из мрамора, арагонита, известняка и других карбонатных пород служит в десятки раз меньше, чем гранит,

*Original article*

## MODERNIZATION OF CONSTRUCTION- INSTALLATION OF A PISTOL FOR MINING NATURAL STONE

V.T. FEDOROV<sup>1</sup>, M.N. KOKOEV<sup>2</sup><sup>1</sup> CONCERN «NANOINDUSTRY», MOSCOW,  
RUSSIAN FEDERATION<sup>2</sup> KABARDINO-BALKAR STATE UNIVERSITY  
NAMED AFTER H.M. BERBEKOV, NALCHIK,  
KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC

The possibility of mechanizing the operation of wedging for the extraction of natural stone was reviewed. The goal is to reduce the weight of the wedges to several kg and reduce the diameter of the holes in the stone where the wedges are installed. The weight of one hydraulic wedge used is 26 kg, not counting the weight of the hydraulic pump with pressure hoses. Among the options for mechanizing stone mining with wedges, the following approaches are considered – the use of the electro-hydraulic effect; application of liquid nitrogen evaporation in a closed volume; use of electromechanical wedge drive. The fourth option was chosen – modernization of the powder actuated fastening tool for the new task. A calculation has been made for a modernized fastening tool. Several fastening tools chambered for a 7,62 × 54,00 mm rifle cartridge with a charge of moderated propagation gunpowder can split a large stone block. Shallow holes are drilled into the stone block into which wedges are inserted. Measures have been taken to compensate for the recoil of a shot. A shot is fired and the wedges, much larger than a concrete anchor, split the stone. The wedges are reusable. The synchronized operation of several tools is ensured by electric firing from one circuit. A modernized tool with an electric triggering for stone mining can weigh below 3,5 kg. The technical details of the proposal are discussed.

**KEY WORDS:** extraction of natural stone, hydro wedge, modernization, powder actuated fastening tool, gunpowder charge

диабаз, кварцит и другие твердые изверженные метаморфизованные породы. Полированный или без обработки поверхности облицовочный гранит, диабаз имеют высокий спрос внутри страны. К натуральным облицовочным материалам высокого качества и дол-

говечности вырос интерес и за рубежом. Экономические соображения здесь играют не последнюю роль [3]. Использование устойчивых к крайне неблагоприятной атмосфере городов облицовочных материалов позволяет сократить расходы на ремонт фасадов при эксплуатации зданий.

При богатых запасах природного сырья Россия импортировала ежегодно до 2022 г. более 50% облицовочных изделий из природного камня. Это объясняется более высоким качеством и точными размерами зарубежной продукции. Не всегда удовлетворительное качество отечественных изделий – это следствие сильного износа оборудования и низкой технологической культуры предприятий, ведущих добычу и обрабатывающих облицовочный камень [11]. Благодаря постоянному технологическому развитию и быстрому распространению инновационных дизайнерских идей спрос на натуральные камни в последние годы увеличивается [22].

Применение канатно-абразивных пил, в которых в качестве абразива используют суспензию, содержащую кварцевый песок, в нашей стране началось в 1930 г. Но канатно-абразивные пилы показывали хорошую производительность только на камнях до средней твердости – подобных мрамору, а на камнях большей твердости – граните, диабазе и тому подобных, в несколько раз меньше.

15 февраля 1953 г. в шведской компании ASEA группа Эрика Лундблада впервые получила синтетические алмазы. В компании, без публикаций в прессе об успехе группы, более двух лет продолжались работы по оптимизации режимов и составов по производству синтетических алмазов. Советский физик Овсей Ильич Лейпунский в 1939 г. опубликовал теоретическую работу в «Успехах химии», в которой указал, при каких давлении и температуре можно получить алмазы в результате синтеза (так называемая диаграмма Лейпунского). Знал ли о диаграмме Лейпунского кто-либо из группы Э. Лундблада, неизвестно.

16 декабря 1954 г. американская фирма «Дженерал электрик» (GE), вторыми после шведов, получила синтетические алмазы. Но только в марте 1955 г. фирма GE сочла возможным опубликовать сообщение о том, что открытие состоялось. В тот же день акции компании GE поднялись в цене. Вскоре американцы начали производить технические алмазы в промышленных количествах. А осенью 1957 г. компания «Дженерал электрик» объявила, что ею изготовлено 100 тысяч карат (20 кг) алмазного порошка. В начале 1960-х годов, с появлением на мировом рынке первых синтетических алмазов, начали регистрировать за рубежом патенты на оборудование с канатно-алмазными и дисковыми пилами для добычи природного камня.

В СССР тогда был сильнейший дефицит алмазов для технических целей. Западные страны не продавали стране стратегические материалы. В техниче-

ских алмазах остро нуждались машиностроение и инструментальные заводы. Алмазное месторождение «Мир», открытое в Якутии в 1955 г., начало выдавать свою продукцию в 1957 г., причем 80% – технические алмазы. Но природные алмазы, хоть и технические, все еще были в дефиците. Когда в 1960 г. будущий академик АН СССР Л.Ф. Верещагин [4] со своими сотрудниками осуществил получение синтетических алмазов, началась разработка алмазных инструментов и внедрение их в промышленность. Сначала синтетические алмазы пошли в авиастроение и на предприятия, имеющие отношение к космосу и ВПК, а потом уже на предприятия народного хозяйства.

Современные способы добычи каменных блоков не обходятся без алмазного инструмента. Резка алмазно-канатными пилами и алмазными дисковыми пилами – это высокоэффективный метод, позволяющий обеспечить точные размеры блоков и плит и уменьшить количество отходов [19]. Шлифовка гранитных облицовочных плит алмазным инструментом наиболее производительна. Но высокие затраты, износ и поломка алмазного режущего инструмента сдерживают распространение этой технологии [14].

Крупные блоки из крепких изверженных пород добывают буровзрывным и буроклиновым способами. Взрывные работы с использованием взрывчатых веществ (ВВ) для добычи камня требуют дальнейшего изучения и оптимизации. В отношении этой технологии существует ряд значительных ограничений. Во-первых, при таких подрывах каменные обломки могут разбрасываться на значительные расстояния, так как большинство конденсированных ВВ при взрыве обладают бризантным, то есть дробящим действием [2]. Есть составы ВВ, снижающие их бризантность. Во-вторых, известные трудности работы с взрывчатыми веществами ограничивают область их применения в неспециализированных организациях, так как использование ВВ предполагает специальную подготовку людей, соблюдение особых правил хранения, перевозки, использования и учета [15].

Применение простого клина при разработке камня практикуется давно и весьма рационально по своей сути, так как при воздействии расклинивающих усилий материал разрушается за счет растягивающих напряжений, предельная величина которых для камня в десятки раз ниже, чем величина допустимых напряжений сжатия.

В работе [20] проведено исследование механических свойств твердых горных пород более десяти видов. Установлено, что их средняя прочность на разрыв равна 3,4 МПа (34 кгс/см<sup>2</sup>), что примерно в 30 раз ниже прочности твердых пород на сжатие. Следует заметить, что прочность твердых горных пород указана весьма условно, отличие может достигать десятичного

порядка. Кроме того, горные породы разрушаются при малой линейной относительной деформации, которая в среднем не превышает 0,3–0,4%. Из приведенных в литературе данных следует, что количество энергии, необходимое для разрушения породы под действием растягивающих напряжений, соответствует 0,001 значения той величины, которая необходима для разрушения камня при сжатии.

Наиболее ответственный процесс в технологии добычи гранитных блоков – выкалывание из массива крупного монолита, размеры которого зависят от расстояния между отдельными трещинами, а при их отсутствии – от грузоподъемности подъемно-транспортного оборудования. Монолит раскалывают на блоки и заготовки буроклиновым способом с размещением простых или гидравлических клиньев в шпурах, пробуренных перфораторами с твердосплавными коронками.

Применяемые для добычи каменных блоков гидравлические клинья позволяют получать большие направленные усилия по сравнению с усилиями, развиваемыми при взрывах. Действие гидроклина также благоприятно, поскольку позволяет точнее ориентировать раскол в нужном направлении, что повышает выход годного материала. Однако работа с существующими гидроклинами требует большой затраты физической силы, так как масса известных гидроклиньев типа ГКБ-1 и ГКБ-2 равна примерно 45 кг. Гидроклинья подключены двумя шлангами к гидронасосной станции. Гидроклин ГКБ-2М имеет массу 26 кг [12]. Большая масса существующих гидроклиньев объясняется наличием гидроцилиндра с поршнем, длинного штока с клином, пружинящих разжимных щечек и других массивных деталей.

В одной из первых работ, посвященных уменьшению массы гидроклина [10], было предложено вместо клина закладывать в шпур мягкую оболочку из многослойного высокопрочного кевлара. В эту оболочку закачивать под высоким давлением от 12 до 32 МПа гидрожидкость.

Нами были исследованы возможные принципы работы и конструкции гидроклина, использование которых позволило бы снизить массу расклинивающего инструмента. Одновременно изучалась возможность уменьшения диаметров шпуров, используемых при разработке природного камня с помощью гидроклина. Очевидно, что обе задачи взаимосвязаны. Среди вариантов механизации работ по добыче натурального камня, используя идею клина, рассмотрим следующие подходы:

- использование электрогидравлического эффекта;
- применение испарения криогенной жидкости в замкнутом объеме;
- использование электромеханического привода для работы клина;
- применение патрона с порохом, как в строительно-

монтажном пистолете;

### ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Для создания импульса высокого давления в жидкости и передачи его на стенки шпура для раскалывания камня с целью получения крупных каменных блоков рассмотрим необычный физический эффект. Электрогидравлический эффект открыт Л.А. Юткиным в 1933 г., но первое опубликованное изобретение имеет дату 1950 г. Оборудование и технология использования электрогидравлического эффекта в различных отраслях промышленности достаточно хорошо освоены как в России, так и за рубежом [17]. Однако работа с высоковольтным конденсаторным накопителем в полевых условиях требует особых мер электрической безопасности, так как к электродам разрядной камеры прикладывается напряжение величиной от 10 до 25 кВ при большой величине тока [7]. Недостаток данного подхода заключается в импульсном (десятичные доли миллисекунды) воздействии сильного электрогидравлического удара, который может вызвать поломку клина. Но, несмотря на это обстоятельство, проведем оценочные расчеты.

Определим необходимую мощность конденсаторного накопителя для одновременной импульсной передачи энергии на пять гидроклиньев. Чтобы расколоть крупный каменный блок должны работать несколько клиньев, выстроенных по линии раскола камня. Найдем величину работы  $A_{кл.}$  для одного гидроклина ГКБ-2М:

$$A_{кл.} = [P (\pi D^2 / 4) h] / (\eta_{ц} \eta_{н} \eta_{з} \eta_{ш} \eta_{к}), \quad (1)$$

где  $P$  – рабочее давление в гидроцилиндре (12 МПа),  $D$  – диаметр цилиндра гидроклина (60 мм),  $h$  – величина рабочего хода поршня (100 мм),  $\eta_{ц}$  – КПД цилиндр-поршень (0,9),  $\eta_{н}$  – КПД гидронасоса (0,82),  $\eta_{з}$  – КПД электродвигателя насоса (0,85),  $\eta_{ш}$  – КПД гидро-шлангов (0,92),  $\eta_{к}$  – КПД клина (0,9). Для самого легкого гидроклина ГКБ-2М массой 26 кг, общий КПД равен 0,519. Величина работы для одного клина  $A_{кл.}$  равна 6,53 кДж.

При работе электрогидравлического устройства не более 50% энергии накопителя переходит в механическую работу. Следовательно, при работе накопителя на 5 шпуров необходимая энергия конденсаторной батареи должна быть минимум в десять раз больше. Таким образом, энергоемкость конденсаторной батареи, работающей одновременно на 5 шпуров должна быть не менее 65,34 кДж.

Как известно, энергия электрического поля  $W_{э}$ , запасаемая накопителем, равна:

$$W_{э} = \frac{CU^2}{2}, \text{ отсюда } C = \frac{2W}{U^2}, \quad (2)$$

где  $C$  – электрическая емкость конденсатора,  $U$  – рабочее напряжение.

Приняв рабочее напряжение равным 10 кВ находим, что для получения указанной энергии разряда необходимо использовать импульсные конденсаторные батареи суммарной емкостью 1300 мкФ. Емкость конденсатора  $C$  определяется:

$$C = \frac{\epsilon_0}{d} \epsilon S, \quad (3)$$

где  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами (в вакууме равна 1,0),  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,854 \times 10^{-12}$  Ф/м;  $S$  – площадь каждой (или наименьшей) пластины;  $d$  – расстояние между пластинами. Из формулы (3) следует, чем тоньше диэлектрический промежуток  $d$ , тем выше емкость конденсатора, но толщина изолирующего промежутка ограничена его электрической прочностью. В современных конденсаторах с высокой запасаемой на единицу объема энергией полимерные пленки с алюминиевым покрытием обычно имеют толщину 2...5 мкм [8]. Это физически ограничивает возможности их работы в качестве импульсных конденсаторов. Они применяются в обычной электротехнике и электронике, где нет импульсных разрядных токов. В будущем, возможно, появятся импульсные конденсаторы повышенной энергоемкости.

Для накопительных устройств конденсаторы производят с целью получения больших мощностей в коротком импульсе и способными выдерживать токи во многие кА и большие электродинамические нагрузки. Геометрический объем батареи определяем из того, что удельная энергоемкость серийных импульсных конденсаторов в лучшем случае не превышает  $0,5$  Дж/см<sup>3</sup> [16]. Объем конденсаторного накопителя для нашего случая берем равным 131 дм<sup>3</sup>. Основные компоненты импульсных конденсаторов – это алюминий, полимерная изоляция и электротехническое масло, фарфоровые высоковольтные вводы, поэтому конденсатор не может иметь среднюю плотность меньше  $1400$  кг/м<sup>3</sup>. Исходя из этого, минимальная масса накопителя вместе с высоковольтным блоком питания получается равной  $500$  кг.

Таким образом, накопитель энергии (батарея импульсных конденсаторов) для работы электрогидравлической установки имеет большую массу и для его перевозки вместе с блоком питания необходим грузовой автомобиль. По массе и стоимости всего комплекса он будет существенно больше существующего гидромеханического оборудования. Обслуживание всего комплекса из-за наличия высоковольтного оборудования будет намного сложнее.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОГО АЗОТА В КЛИНЕ ДЛЯ ДОБЫЧИ КАМНЯ

Рассматривалось использование в силовом устройстве в виде пневматического клина жидкого азота для раскалывания камня. Один литр жидкого азота, испаряясь и нагреваясь до  $20^\circ$  С, образует примерно 700 литров газа. При испарении жидкого азота в замкнутой камере давление в ней может быть увеличено до  $35\text{--}40$  МПа. В камерах должен быть незамерзающий предохранительный клапан. Это позволило бы существенно снизить массу инструмента и отказаться от применения гидронасоса и напорных шлангов. Для совершения клином одного рабочего хода необходимо подать в камеру инструмента  $80\text{--}100$  г жидкого азота (по объему  $100\text{--}125$  мл), после чего быстро закрыть ее затвором с уплотнителем с многозаходной резьбой. Надо предварительно захлаживать камеры клиньев жидким азотом, а после заправки криогенной жидкостью ждать пока они нагреются до температуры окружающей среды.

На многих промышленных предприятиях есть установки для получения жидкого азота и стоимость его невысока [5]. Хранение жидкого азота не представляется технически сложной задачей. Существуют криогенные емкости различного объема для хранения и перевозки жидкого азота. Жидкий азот обладает удельной плотностью  $0,808$  г/см<sup>3</sup> и имеет точку кипения  $77,4$  К ( $-195,75^\circ$  С). Азот не взрывоопасен и не ядовит [1]. Однако метод, основанный на применении криогенной жидкости, нельзя считать пригодным для широкого применения в камнедобывающих карьерах, так как жидкий азот все же является продуктом, доступным не во всех регионах страны. Есть и другая причина непригодности криогенной жидкости в пневмоклине.

Трудность, препятствующая дальнейшей разработке данного направления, связана с тем, что при использовании нескольких клиньев для раскалывания одного каменного блока, не решена проблема одновременной и равной заправки жидким азотом большого количества камер пневмоклиньев за малое время. Это приведет к неодновременному нарастанию давления в камерах клиньев, что снизит их суммарное силовое воздействие на обрабатываемый материал.

Кроме того, работа с газом высокого давления даже при небольших объемах используемых камер требует обеспечения строгих мер безопасности, чем работа с обычными гидравлическими устройствами небольшой и средней мощности. Коэффициент сжимаемости гидрожидкостей невысок, поэтому в случае разрыва гидроцилиндра последствия будут не столь катастрофичны, как при разрыве емкости со сжатым газом.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ДЛЯ РАБОТЫ КЛИНА

Изучалась возможность применения для механизации работы клина электромеханического при-

вода, состоящего из электродвигателя, редуктора и винтовой передачи. Достоинство электропривода по сравнению с гидроприводом заключается в том, что громоздкие напорные шланги ограниченной длины, которые затрудняют передвижение рабочего по рабочей площадке, можно заменить на более длинные и легкие электрокабели для питания электродвигателя.

Назначим распорное усилие клина  $F = 0,5 \text{ МН}$  (50 тс). Если оно окажется недостаточным, то расстояния между шпурами можно уменьшить. Оценим мощность привода  $N$  для электромеханического клина:

$$N = Fs / (\tau \times \eta_{\text{б}} \times \eta_{\text{ч}} \times \eta_{\text{кв}}) = 10 \text{ кДж} / (\tau \times \eta_{\text{б}} \times \eta_{\text{ч}} \times \eta_{\text{кв}}), \quad (4)$$

где  $s = 0,02 \text{ м}$  ход с распорным усилием клина, равное 50 тс, время работы электродвигателя  $\tau = 30 \text{ с}$ ; КПД электродвигателя  $\eta_{\text{б}} = 0,85$ ; КПД червячной передачи с малым передаточным числом  $\eta_{\text{ч}} = 0,80$ ; КПД винтовой передачи  $\eta_{\text{в}} = 0,92$ ; КПД передачи клином (скольжение клина по щелкам)  $\eta_{\text{кв}} = 0,9$ . Общий КПД привода из формулы (4) равен 0,56.

При указанной длительности рабочего хода электромеханического клина необходимая мощность электропривода должна быть равной 0,565 кВт. Учитывая, что привод работает не более полминуты и с большими паузами, можно взять электродвигатель мощностью 0,40 кВт. В случае применения для привода коллекторного двигателя масса инструмента вместе с червячным редуктором и реверсивной передачей типа «винт-гайка» получается несколько меньше, чем у гидроклина. Кроме того, у электрического клина не удастся снизить диаметр рабочей части инструмента, которая должна входить в шпур. Значит, трудоемкость бурения шпуров остается такой же.

Снизить немного массу электромеханического клина можно применив волновую или планетарную передачу и асинхронный электродвигатель, работающий от источника тока на 400 Гц. Однако такой вариант требует для питания двигателя применения преобразователя частоты тока. Таким образом, стоимость электромеханического клина будет выше стоимости гидроклиньев с гидронасосной станцией, с некоторым уменьшением массы электроинструмента и с повышением его сложности. Единственное и немалое преимущество клина с электромеханическим приводом, с учетом работы в карьере, отсутствие гидронасосной станции и тяжелых напорных шлангов. Вместо шлангов длинный и гибкий электрокабель для питания электродвигателя клина.

### ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАТРОНОВ С ПОРОХОВЫМ ЗАРЯДОМ ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ КЛИНА В ДЕЙСТВИЕ

Оценим по энергетическим показателям возможность применения в механизированном инструменте для добычи природного камня устройств, основанных

на использовании энергии патронов с пороховым зарядом. Подобно тому, как это решение используется в строительно-монтажных пистолетах. Такой подход оправдан тем, что для его реализации возможно использование готовых конструктивных элементов и узлов стрелкового оружия (патронники, загворы, спусковые устройства). На специализированных заводах имеется большой выбор серийно изготавливаемых изделий пиротехнической номенклатуры, а также методы и средства испытаний подобной продукции. Это направление разработки особенно перспективно в плане конверсии для НИИ и предприятий военно-промышленного комплекса [9].

Строительно-монтажные пистолеты по сравнению с гидроклином (26 кг) имеют массу намного меньше. Например, пороховой пистолет GFT5™ (АО «GEFEST») имеет массу 4,6 кг (ТУ 7181-001-90573248-2012; ГОСТ Р 50529-2010. Руководство по эксплуатации «Пистолет монтажный поршневого GFT5™» (<https://www.komplektacya.ru/data/pistolet-gft-5.pdf>). Бывают строительно-монтажные пистолеты и существенно меньшей массы до 2,5 кг. Например, строительно-монтажный пистолет ПЦ-84. Патрон для GFT5 размером 6,8 × 18 мм имеет максимальный заряд с энергией 1,3 кДж. В патроне строительно-монтажного пистолета GFT5™ бездымного пороха около 0,8 г. Этого достаточно, чтобы монтажный пистолет прибил деталь с толщиной малоуглеродистой стальной стенки до 4 мм к бетону дюбелем длиной 76 мм. Такого заряда пороха, как убедимся ниже, недостаточно для работы клина по раскалыванию камня.

Вообще, использование строительно-монтажного пистолета регулируется нормативными актами по охране труда: в Европе – Требования к безопасности для ручного инструмента прямого монтажа (Европейский Стандарт EN 792-13. В России – Инструкцией по технике безопасности при применении строительно-монтажных пистолетов (РД 34.03.214). Если изложенная в этой статье концепция модернизации пистолета с использованием патронов с пороховым зарядом для добычи природного камня будет реализована в какой-либо организации или предприятии, то разработчик должен разработать руководство по эксплуатации и инструкцию по технике безопасности при применении нового инструмента.

Сделаем ориентировочный расчет работы по раскалыванию крупного каменного блока. Из устройства гидроклина ГКБ-2М следует, что поперечный полный ход клина при раскалывании камня равен  $s = 8,7 \text{ мм}$ . В результате работы нескольких гидроклиньев раскалывается крупный каменный блок. В среднем напряжение разрыва для гранита, при котором раскалывается гранитный блок равно  $\sigma = 3,4 \text{ МПа}$  [20]. Найдем затраты работы  $A_{\text{кл}}$  для раскалывания гранитного блока для одного клина:

$$A_{\text{ка}} = \sigma \times b \times h \times s / (\eta_{\text{ка}} \eta_{\text{стр.о}}) = 3,4 \times 10^6 \times 0,25 \times 0,5 \times 0,0087 / (0,9 \times 0,4), \quad (5)$$

где  $b$  – межосевое расстояние между шпурами 0,25 м. Это расстояние между шпурами можно во время испытаний менять, в зависимости от прочности камня. То есть, при отладке опытного образца модернизированного пистолета, в зависимости от прочности камня и вида горной породы, можно расстояние  $b$  задавать от 0,7 до 0,10 м. Можно менять мощность патрона величину заряда в пределах объема гильзы патрона  $7,62 \times 54,00$  мм и тип пороха (флегматизированные пироксилиновый или нитроглицериновый) в соответствии с правилами техники безопасности.  $h$  – глубина раскола камня 0,5 м, поперечный ход клина  $s = 0,0087$  м,  $\eta_{\text{ка}}$  – КПД клина 0,9. Принимаем КПД порохового заряда патрона для стрелкового оружия в среднем равным  $\eta_{\text{стр.о}} = 0,4$ . Общий КПД равен  $0,9 \times 0,4 = 0,36$ . Расчет по формуле (5) дает  $A_{\text{ка}} = 10,27$  кДж. Определим массу заряда пороха  $m_{\text{п}}$  для совершения работы одного клина:

$$m_{\text{п}} = A_{\text{ка}} / E_{\text{п}} = 10,27 / 4,09 = 2,51 \text{ г}, \quad (6)$$

где  $A_{\text{ка}}$  – количество работы клина,  $E_{\text{п}}$  – среднее энергосодержание бездымных порохов, равное 4,09 кДж/г [6]. По формуле (6) необходимая масса порохового заряда равна 2,51 г. Найдём объем гильзы патрона, чтобы поместить заряд пороха в 2,51 г, зная гравиметрическую плотность бездымного пороха (0,7 г/мл): объем гильзы равен 3,6 мл. Винтовочный патрон калибром  $7,62 \times 54,00$  мм [13] имеет объем гильзы 3,8 мл, то есть помещается в гильзу весь порох с запасом.

Для уменьшения скорости роста давления пороховых газов и более полного использования энергии заряда патрона для совершения полезной работы можно применить флегматизированный порох, который имеет прогрессивное горение. При такой обработке порохового зерна флегматизатор проникает в толщу пороха на глубину до 15% от толщины свода зерна, причем постепенно уменьшается концентрация флегматизатора от наружных слоев внутрь зерна. Соответственно скорость горения пороха растет по мере того, как фронт горения перемещается от наружного слоя в глубь зерна. Таким образом, по мере сгорания заряда давление скачком не достигает максимальной величины, но поддерживается на оптимальном уровне до почти полного сгорания заряда. С начала XX-го века для флегматизации бездымных порохов применяется раствор камфоры [21], который вводят в порох пульверизацией. Порох обрабатывают раствором флегматизатора во вращающихся барабанах. Особенно часто такой обработке подвергаются винтовочные бездымные пороха. Камфору в промышленности получают переработкой скипидара.

Как добиться срабатывания патронов в модернизированных пистолетах в нескольких шпурах одновременно, чтобы расколоть каменный блок? С 1930-х годов известен электроспуск огнестрельного оружия. Он применяется в авиационном оружии и везде, где требуется дистанционно привести оружие в действие. Массовый электроспуск применяется на танковых пулеметах КПП (Калашникова пулемет танковый) и КПВТ (крупнокалиберный пулемет Владимира танковый). Электроспуск крепится на затылнике ствольной коробки пулемета [18]. Электроспуск имеет вес около 300 г с коротким кабелем и герметичным разъемом. Модернизированный пистолет вместе с электроспуском для добычи камня может иметь массу до 3,5 кг (без клиньев).

Флегматизированный пороховой заряд винтовочного патрона при выстреле сгорает примерно за 1,2 миллисекунды. Поэтому электроспуски должны подбираться для нескольких монтажных пистолетов, предназначенных для одновременной работы на одном каменном блоке. Различие электроспусков, подбираемых для работы на одном каменном блоке, по времени срабатывания допускается не более 1–2 миллисекунды. Электрический сигнал одновременно приходит на группу электроспусков, но дальше по времени срабатывания могут быть отличия. Это может объясняться различием в механических свойствах пружин, моменте инерции подвижных частей, в индуктивности электромагнитов. Для определения времени срабатывания и подбора электроспусков надо иметь электронный таймер.

Для увеличения поверхности соприкосновения клина с камнем в шпурах круглого сечения применяют клинья, обеспечивающие требуемое направление раскалывания и высокие раскалывающие напряжения. Клин состоит из собственно клина с углом при вершине  $12^\circ$  и двух щечек. Форма клина может быть разной – коническая или призматическая. Чтобы избежать искривления линии раскалывания, разрез щечек должен находиться строго в плоскости откола камня. Для закрепления пистолета на шпуре и компенсации отдачи при выстреле сначала закрепляют в шпуре распорно-винтовое устройство, которое за счет распора в стенки шпура, прочно удерживается. Распорно-винтовое устройство малого диаметра (наподобие дюбеля «молли») с 2 тросиками свободно вставляется в глухое отверстие шпура диаметром 18–20 мм. Затем в каждый шпур вкладывают клинья с щечками. Далее с помощью распорно-винтовых устройствах с 2 тросиками закрепляют пистолеты на шпурах и подключают электроспуски через общую кнопку «Пуск» к источнику питания. Выстрел - и поршни через амортизаторы, воздействуя на клинья, раскалывают камень.

Клинья со щечками и распорно-винтовые устройства с тросиками многозарядные. Наружный диаметр

щечек от 18 мм и выше, а длина клина от 120 мм, в зависимости от размера каменного блока и конструкции модернизированного пистолета. Бурить шпуры малого диаметра (18–20 мм) по меньшей мере в 4 раза легче, чем шпуры диаметром в два раза больше. По вредности, затрате физических усилий и времени эта операция одна из самых тяжелых. Кроме того, при бурении шпуров диаметром 18–20 мм, можно обойтись легким перфоратором.

## ВЫВОДЫ

1. К натуральным облицовочным материалам высокого качества и долговечности растет интерес в нашей стране и за рубежом. Экономические соображения здесь играют не последнюю роль. Использование устойчивых к неблагоприятной атмосфере городов облицовочных материалов позволяет сократить расходы на ремонт фасадов зданий.

2. Среди вариантов механизации работ по добыче камня с помощью клиньев рассмотрены следующие подходы – использование электрогидравлического эффекта; применение испарения жидкого азота в замкнутом объеме; использование электромеханического привода клиньев. Выбран четвертый вариант – модернизация строительного пистолета для добычи природного камня.

3. Сделан расчет для модернизированного монтажного пистолета. Расколоть крупный каменный блок могут несколько модернизированных пистолетов под винтовочный патрон 7,62 × 54,00 мм с зарядом флегматизированного пороха. В каменном блоке бурятся шпуры, куда вставляются клинья. Приняты меры для закрепления в шпурах и компенсации отдачи модернизированных пистолетов. Одновременность действия на одном каменном блоке обеспечивают электроспуски пистолетов. Модернизированный пистолет вместе с электроспуском для добычи камня может иметь массу до 3,5 кг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архаров А.М., Беляков В.П., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы. М.: Машиностроение. 1987. 536 с.
2. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. М.: Наука. 1975. 704 с.
3. Буюнов Ю. Д., Буткевич Г. Р., Харо О.Е. Состояние нерудной промышленности и проблемы ее развития // Строительные материалы. 1997. № 1. С. 27–29.
4. Верецагин Л.Ф. Синтетические алмазы и гидроэкструзия. М.: Наука. 1982. 328 с.
5. Горохов В.С. Аппараты установок для разделения жидкого воздуха. М.: Машиностроение. 1965. 1233 с.
6. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. М.: Машиностроение, 1972. 208 с.
7. Гудой А.Г. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. М.: Машиностроение. 1977. 320 с.
8. Джон Галлипо. Силовые пленочные конденсаторы в возобновляемых источниках энергии // Вестник электроники. 2018. №2 (62). С. 1–5.
9. Кокоев М.Н., Федоров В.Т. Изостатический клин для добычи природного камня // Строительные материалы. 1997. № 8. С. 13–14.
10. Кокоев М.Н. ВПК и гражданские отрасли промышленности // Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Серия: Эконом. науки. 1997. Вып. II. С. 92–94.
11. Косолапов А.И., Безверхая Е.В. Выбор способа отработки месторождений облицовочного камня / Добыча, обработка и применение природного камня: Межвуз. сб. научн. трудов Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 65–77.
12. Малин В.И., Дамье-Вульфсон В.Н. Наружная и внутренняя облицовка зданий природным камнем. М. 1991. 304 с.
13. Параметры винтовочного патрона 7,62×54 мм R. [https://ru.wikipedia.org/wiki/7,62\\_%D0%BC%D0%BC\\_R](https://ru.wikipedia.org/wiki/7,62_%D0%BC%D0%BC_R) (дата обращения: 11.09.2023).
14. Першин Г.Д. Технико-экономическое обоснование технологических параметров процессов резания камня канатно-алмазными пилами // Строительные материалы. 1994. №8. С. 4–6.
15. Светлов Б.Я., Яременко Н.Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. М.: Недра. 1973. 208 с.
16. Хансиоахим Блум. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств. М.: Додэка-XXI. 2008. 352 с.
17. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. СПб.: Машиностроение. 1986. 252 с.
18. Электроспуск ПКТ. <https://guns.allzip.org/topic/120/1610059.html> (дата обращения: 11.09.2023).
19. Samarakoon K.G.A.U., Chaminda S.P., Jayawardena C.L. et. al. A Review of Dimension Stone Extraction Methods // Mining. 2023. 3(3). P. 516–531.
20. Rudolph G. Wuerker. Annotated Tables of Strength and Elastic Properties of Rocks. University of Illinois, Published by Petroleum Branch, AIME, December, 1956. С. 474–478.
21. Stecher V.M., Paul G. Finke, Siegmund O.H. The merck index of chemicals and drugs. 7<sup>th</sup> ed. Edited by Paul G. Merck & Co., Inc., Rahway, N.J., 1960. 1641 p.
22. Tumas D., Shaterpour-Mamaghan A. Estimating the sawability of large diameter circular saws based on classification of natural stone types according to the geological origin // International Journal of Rock Me-

chanics and Mining Sciences. 2018. 101. P. 18–32.

## REFERENCES

1. **ARKHAROV A.M., BELYAKOV V.P., MIKULIN E.I. ET AL.** Cryogenic systems. Moscow: Mashinostroyeniye. 1987:536 (In Russian).
2. **BAUM F.A., ORLENKO L.P., STANYUKOVICH K.P. ET AL.** Physics of explosion. Moscow: Nauka. 1975:704. (In Russian).
3. **BUYANOV YU.D., BUTKEVICH G.R., KHARO O.E.** State of the non-metallic industry and problems of its development. *Stroitel'nyye materialy*. 1997;1:27–29. (In Russian).
4. **VERESHCHAGIN L.F.** Synthetic diamonds and hydroextrusion. Moscow: Science. 1982: 328. (In Russian).
5. **GOROHOV V.S.** Equipment for liquid air separation plants. Moscow: Mashinostroyeniye. 1965:1233. (In Russian).
6. **GORST A.G.** Gunpowder and explosives. Moscow: Mashinostroyeniye. 1972:208. (In Russian).
7. **GULOY A.G.** Equipment and technological processes using the electrohydraulic effect. Moscow: Mashinostroyeniye. 1977:320. (In Russian).
8. **JOHN GALLIPEAU.** Power film capacitors in renewable energy sources. *Vestnik elektroniki*. 2018;2;(62):1–5. (In Russian).
9. **KOKOEV M.N., FEDOROV V.T.** Isostatic wedge for the extraction of natural stone. *Stroitel'nyye materialy*. 1997;8:13–14. (In Russian).
10. **KOKOEV M.N.** Military-industrial complex and civil industries. *Vestnik Kabardino-Balkarskogo gosuniversiteta. Seriya: Ekonom nauki*. Nalchik, 1997;2:92–94. (In Russian).
11. **KOSOLAPOV. A.I., BEZVERKHAYA E.V.** Choosing a method for mining facing stone deposits. Extraction, processing and use of natural stone: Interuniversity. Sat. scientific tr. Magnitogorsk: MSTU, 2001:65-77. (In Russian).
12. **MALIN V.I., DAMIER-WULFSON V.N.** External and internal cladding of buildings with natural stone. Moscow. 1991:304. (In Russian).
13. Parameters of the rifle cartridge 7,62 × 54 mm R. [https://ru.wikipedia.org/wiki/7,62\\_%C3%97\\_54\\_%D0%BC%D0%BC\\_R](https://ru.wikipedia.org/wiki/7,62_%C3%97_54_%D0%BC%D0%BC_R) (Accessed 11.09.2023). (in Russian).
14. **PERSHIN G.D.** Feasibility study of technological parameters of stone cutting processes using diamond wire saws. *Stroitel'nyye materialy*. 1994;8:4–6. (In Russian).
15. **SVETLOV B.YA., YAREMENKO N.E.** Teoriya i svojstva promyshlennyh vzryvchatyh veshchestv. Mosrow: Nedra. 1973:208. (In Russian).
16. **HANSIOACHIM BLOOM.** Circuit design and application of high-power pulse devices. Moscow: Dodeka-XXI. 2008:352. (In Russian).
17. **YUTKIN L.A.** Electrohydraulic effect and its application in industry. Saint Petersburg: Mashinostroyeniye. 1986:252. (In Russian).
18. Electric trigger PKT. <https://guns.allzip.org/topic/120/1610059.html> (Accessed 11.09.2023) (In Russian).
19. **SAMARAKOON K.G.A.U., CHAMINDA S.P., JAYAWARDENA C.L. ET. AL.** A Review of Dimension Stone Extraction Methods. *Mining*. 2023. 3(3):516–531.
20. **RUDOLPH G.** Wuerker. Annotated Tables of Strength and Elastic Properties of Rocks. University of Illinois, Published by Petroleum Branch, AIME, December, 1956:474–478.
21. **STECHEB B.M., PAUL G. FINKEL, O.H. SIEGMUND.** The merck index of chemicals and drugs. 7th ed. Edited by Paul G. Merck & Co., Inc., Rahway, N.J., 1960:1641.
22. **TUMAC D., SHATERPOUR-MAMAGHAN A.** Estimating the sawability of large diameter circular saws based on classification of natural stone types according to the geological origin // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, 101:18–32.

**Федоров Виктор Тихонович**,  
д.т.н., советник директора Концерна «Наноиндустрия»

✉ 119334, г. Москва, ул. Бардина, д. 4, корп. 1,  
119334, Moscow, st. Bardina, d. 4, building. 1  
e-mail: fedorovsteer@gmail.com

**Кокоев Мухамед Нурғалиевич**,  
д.т.н., профессор кафедры строительного производства  
Кабардино-Балкарского государственного университета  
им. Х.М. Бербекова, советник РААСН

✉ 360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173,  
360004, KBR, Nalchik, st. Chernyshevsky, 173  
e-mail: kbagrostroy@yandex.ru