

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ИВАНОВ С.Л.
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И.
(сопредседатель)
ТРУБЕЦКОЙ К.Н.
(сопредседатель)
АНТОНОВ Б.И.
ГАЛКИН В.А.
КОЗЯРУК А.Е.
КОСАРЕВ Н.П.
МЕРЗЛЯКОВ В.Г.
НЕСТЕРОВ В.И.
ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:

АНДРЕЕВА Л.И.
ГАЛКИН В.И.
ГЛЕБОВ А.В.
ЕГОРОВ А.Н.
ЕДЫГЕНОВ Е.К.
ЖАБИН А.Б.
ЗЫРЯНОВ И.В.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КУЛАГИН В.П.
МИКИТЧЕНКО А.Я.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗНЕР Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я.
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ТРИФАНОВ Г.Д.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА О.В.
ДАНИЛИНА И.С.

Телефоны редакции:
(499) 269-53-97, 269-55-10

Факс (499) 269-55-10

E-mail: gma@novtex.ru
<http://novtex.ru/gormash>

СОДЕРЖАНИЕ

НАДЕЖНОСТЬ. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Балдаев Л. Х., Балдаев С. Л., Маньковский С. А. Применение газотермических методов для восстановления и упрочнения деталей бурового и добывающего оборудования с целью повышения срока эксплуатации . . . 2
Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., Симисинов Д. И., Лагунова Ю. А. Применение технологии целенаправленного формирования микро- и нанокристаллической структуры конструкционной стали для повышения ресурса режущей цепи камнерезной машины 7

БУРОВЫЕ РАБОТЫ

Комиссаров А. П., Фролов С. Г., Прокопович Г. В. Влияние конструкции породоразрушающего инструмента на эффективность ударного бурения 11

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

Семенов М. А., Иванов С. Л. Шахтная оперативная и аварийная беспроводная связь 16

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Горелкин И. М. Полимерные трубы в шахтном водоотливе 19

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е., Черных Б. А. Результаты экспериментальных исследований влияния полимерных добавок в рабочую жидкость на эффективность резания горных пород струями воды высокого давления 22
Зедгенизов В. Г., Аль-Саккаф Халед Саед Таха. Некоторые закономерности разрушения горных пород при ударном взаимодействии клиновидного инструмента с негабаритом 28
Шемякин С. А., Иванченко С. И., Чебан А. Ю., Белов В. Е. Сопротивление копанью скрепером с импульсными колебаниями ковша 32
Варнава А. В., Жуков И. А. К разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния секции става шахтного скребкового конвейера 35

РАЗРАБОТКА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Епифанцев К. В. Обоснование геометрических параметров фильер матрицы торфяной формующей машины 40

РАЗРАБОТКА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Мамаев Ю. А., Хрунина Н. П. Совершенствование технологии дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей 45

ИНФОРМАЦИЯ

Рецензии на статью Ю. В. Дмитрака, А. Н. Картавого, Н. Г. Картавого, В. А. Серова "Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов" 15, 39

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 621.791

Л. Х. Балдаев, д-р техн. наук, С. Л. Балдаев, канд. техн. наук, С. А. Маньковский, канд. техн. наук, ООО "Технологические системы защитных покрытий", г. Щербинка

E-mail: sman05@list.ru

Применение газотермических методов для восстановления и упрочнения деталей бурового и добывающего оборудования с целью повышения срока эксплуатации^{НГ*}

Рассмотрены основные проблемы износа и низкого срока эксплуатации деталей оборудования горно-добывающей отрасли и актуальность их решения. Показаны пути решения данной проблемы с помощью методов газотермического напыления (ГТН). Рассмотрены и проанализированы современные технологии и материалы, применяемые наряду с методами ГТН для создания защитных покрытий от абразивного износа рабочих поверхностей горной техники. Показаны преимущества ГТН по сравнению с другими способами при упрочнении и восстановлении деталей горной техники. Представлены опыт решения проблем и результат работы по упрочнению и восстановлению деталей горно-добывающей отрасли специалистами ООО "Технологические системы защитных покрытий".

Ключевые слова: горное оборудование, защитные покрытия, напыление, наплавка, газотермические методы, абразивный износ.

L. Kh. Baldaev, S. L. Baldaev, S. A. Mankovsky

Application of Thermal Spray Technologies for Renovation and Strengthening of Parts of Boring Machines and Mining Equipment to Increase its Lifetime

The article presents the main problems of wear and low-life parts of the equipment mining industry and the relevance of their decisions. Show the ways of solving this problem by using thermal spraying methods (TSM). Review and assess the latest technology and materials used, along with TSM for protective coating on the abrasive wear of working surfaces of mining equipment. The advantages of TSM compared with other methods for hardening and recovery of mining equipment parts. The experience and results with certain enterprises for strengthening and rehabilitation of mining parts.

Keywords: mining equipment, protective coatings, thermal spraying, welding, thermal spray techniques, abrasion wear.

Как известно, в большинстве материалоемких отраслей промышленности, в частности горно-добывающей, большое внимание уделяется увеличению срока службы и восстановлению рабочих поверхностей различных деталей и механизмов. В ряде случаев для увеличения ресурса деталей является целесообразным применение различных способов нанесения защитных и упрочняющих покрытий на их рабочие поверхности. При этом удается достигнуть значительной экономии дорогостоящих материалов, поскольку деталь выпол-

няется из недорогих материалов, а все необходимые эксплуатационные характеристики обеспечивает защитное покрытие, нанесенное тонким слоем на рабочую поверхность детали.

Горно-добывающее оборудование отрасли эксплуатируется в условиях повышенного абразивного износа в сочетании с давлением, вибрацией, ударами, химической агрессией, результатом чего могут являться не только снижение производительности, потери прибыли, а также аварии. Примером этому является интенсивный износ твердыми абразивными частицами участков ковшей экскаваторов и погрузчиков, режущих кромок

* Символом НГ обозначены статьи, поступившие с Недели горняка.

бульдозеров, шарошечных долот, бурильных головок, деталей узлов дробильно-сортировочных комплексов и т. д.

Увеличение ресурса оборудования, используемого в горно-добывающей и обогащательной отрасли промышленности, является комплексной задачей, зависящей как от используемого материала, так и от способа его нанесения. Поэтому для решения данной проблемы выбор материала и способа его нанесения для обеспечения защиты от износа является актуальным.

На практике существуют различные способы решения проблемы износа деталей горного оборудования, но наиболее выгодным и перспективным является нанесение защитных покрытий на рабочие поверхности методами ГТН.

Наряду с указанными методами создания защитных покрытий порошковыми и проволочными материалами для защиты от абразивного износа большинства рабочих поверхностей горной техники используются различные технологии и широкий класс материалов — легированные стали, белые чугуны, полимеры и др.

Для сравнения рассмотрим традиционно применяемые материалы и технологии упрочнения и восстановления деталей горного оборудования.

Полимерные материалы (резина, полиуретан, эластомер и др.) в основном эффективны в тех случаях, где исключается сухое трение. Поликарбонидные покрытия возможно наносить на внешнюю поверхность агрегатов без остановки производства. Технология напыляемых эластомеров позволяет защищать подвергающиеся износу поверхности различных конфигураций, создавая бесшовный однородный слой высокопрочного покрытия. Для предотвращения износа металла от истирания в горно-добывающей отрасли промышленности подбираются поликарбонидные покрытия с конкретными свойствами: повышенная твердость, износостойкость, сочетающаяся с высокой ударостойкостью. Эти качества позволяют использовать полимочевину в качестве материала для защиты от воздействия абразивных материалов: руды, угля, гравия, песка и др. [1].

Данный материал нашел свое применение на таких деталях горного оборудова-



Рис. 1. Полимочевинное покрытие днища вагона думпкара

ния, как лотки и транспортеры, кузова самосвалов, ковши экскаваторов, бульдозеров, грейдеров и прочей дорожно-строительной и горнорудной техники и др. (рис. 1).

К недостаткам относятся: высокая себестоимость из-за использования дорогостоящего импортного сырья; обязательное применение дорогостоящего оборудования для нанесения; высокие требования к квалификации рабочих; изменение цветового оттенка в силу недостаточной стойкости к ультрафиолету, умеренная химическая стойкость.

Использование *износостойкой стали* позволяет минимизировать простои, реже прибегать к замене узлов и повысить тем самым эффективность производства. Легированные стали (65Г, Хардокс, Г13Л и др.) хорошо противостоят ударам, но ввиду ограниченного содержания в них твердой карбидной фазы (не более 5 %) слабо противостоят абразивному воздействию.

Существуют различные варианты применения легированных сталей в деталях и узлах оборудования горно-добывающей отрасли, например, изготовление, восстановление, футеровка (рис. 2).

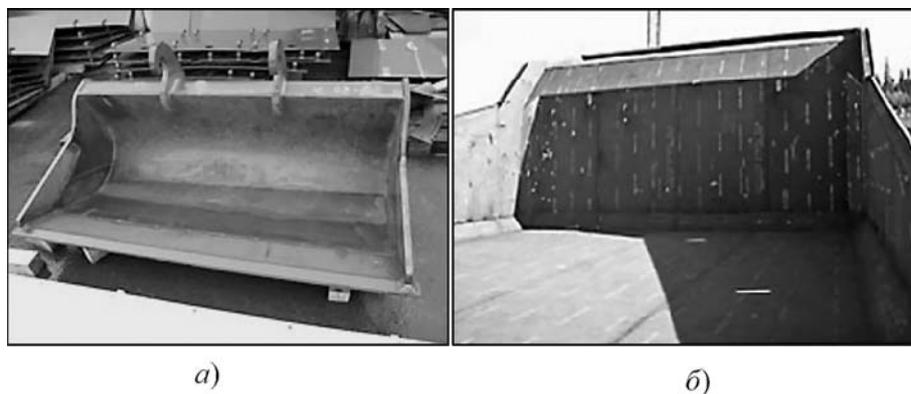


Рис. 2. Восстановление (а) и футеровка (б) деталей и узлов с использованием износостойкой стали

Фактический срок службы толстолистовой стали зависит от твердости материала, контактирующего с листом, а также от типа износа.

При работе с горными породами оборудование обычно подвергается изнашивающему воздействию нескольких типов — износ при трении и ударе, часто в сочетании с сильной деформацией. Различные условия износа обычно требуют использования материалов с различным составом и свойствами [2].

Защитные элементы из белого высокохромистого чугуна (ИЧХ28Н2, ИЧХ15М2 и др.) — это недорогое и эффективное решение проблемы износа деталей как движущихся, так и стационарных. Композитная продукция, состоящая из мягкой углеродистой стали и слоя белого чугуна, в структуре которой содержится до 25 % твердых карбидов хрома твердостью как минимум 700 НВ, обладает высокой износостойкостью. Изнашиваемые части из чугуна выдерживают износ при трении скольжения и умеренный износ при ударе. Стандартное сварочное оборудование и материалы позволяют установить элементы защиты на изнашиваемую поверхность (рис. 3). Однако из-за свойственной чугунам хрупкости они малопригодны для ряда машин горной техники или сварного оборудования [3].

Далее рассмотрим примеры традиционных технологий в сравнении с методами газотермического упрочнения.

Термическая обработка — простая и недорогая технология. Но она дает твердость 55...59 HRC и при обработке данные показатели являются пределом, также при сильном нагревании не избежать коробления деталей.

Показатели газотермического упрочнения поверхности значительно выше — 70...72 HRC, а поскольку нет нагревания, то нет и коробления.

К тому же методы термической обработки применимы только для сталей с особыми свойствами, что для ГТН совершенно не имеет значения.

Гальваническое покрытие хорошо защищает детали от коррозии, удобно своей технологической простотой и возможностью нанесения покрытия на большое количество мелких деталей одновременно. Ограничивающим фактором для применения является размер детали.

При упрочнении деталей методом ГТН получается более твердое покрытие, с более высокой коррозионной стойкостью и адгезией в 2 раза выше, чем при гальваническом покрытии.

С помощью *наплавки* возможно упрочнение и восстановление геометрии деталей. Технология доступна, относительно недорога и не требует особого оборудования. За счет применения наплавочных электродов (Т-590, Т-620) можно создавать твердые слои, содержащие до 30 % карбидной фазы, но для защиты от абразивного износа больших поверхностей ручной метод наплавки весьма трудоемок, к тому же не все стали можно наплавлять. Так как детали машин в горно-добывающей промышленности работают в условиях высокого абразивного износа, они нуждаются в частом восстановлении и защите, а многократное восстановление наплавкой невозможно.

Газотермическое напыление применяется для литейных сталей и поверхностей. Методами ГТН возможно многократное восстановление деталей материалами, обладающими очень высокой твердостью. К тому же восстановленная деталь будет обладать высокой износостойкостью, что экономически выгодно [4].

Из анализа возможных способов создания покрытий становится очевидным, что в большинстве случаев уменьшить стоимость, повысить эксплуатационные характеристики, упрочнить поверхность возможно только при помощи методов газотермического напыления [5].

В ООО "ТСЗП" широкое внимание уделяется применению и развитию способов ГТН. В настоя-

щее время разработаны и внедрены в производство технологии создания защитных покрытий на деталях различных отраслей промышленности, в том числе и горно-добывающей отрасли.

При этом используются следующие способы ГТН: плазменное, высокоскоростное, газопламенное, детонационное. Также разрабатываются технологии наплавки: газопорошковой, плазменной, лазерной.

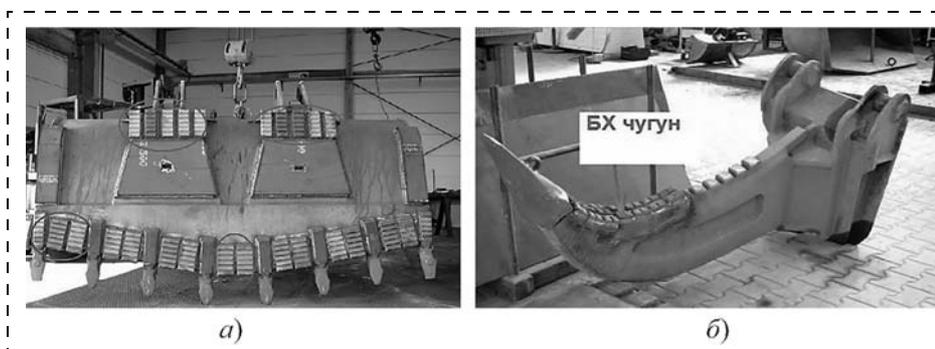


Рис. 3. Защита углового адаптера и боковой поверхности ковша (а) и стойки рыхлителя (б)

Преимущества ГТН заключаются в относительной простоте реализации процесса нанесения покрытий, минимальной вероятности возникновения трещин и коробления (нагревание поверхности детали в процессе напыления не превышает 150 °С, процесс осуществляется с сопутствующим охлаждением), универсальности применения, мобильности, позволяющей наносить покрытия на крупногабаритные, протяженные детали и обеспечивать возможность напыления покрытий в локальных, труднодоступных местах.

В качестве напыляемых материалов используются промышленно выпускаемые российские и зарубежные аналоги порошковых и проволочных материалов определенных химических составов и фракций. Из данных материалов можно получить покрытия, обладающие определенными функциональными свойствами и эксплуатационными характеристиками. В ООО "ТСЗП" разработаны порошковые смеси, обладающие комплексом требуемых свойств, а также ведутся разработки по созданию материалов для получения наноструктурированных покрытий. Например, порошковый материал WC/Co/Cr применяется в сочетании с бронзой, что существенно уменьшает коэффициент трения и снижает износ. Но для условий работы горно-добывающей отрасли целесообразно применение материалов, сочетающих твердость и износостойкость. Одним из таких порошковых материалов является WC/Co/Cr, обладающий следующими характеристиками: плотность покрытия не более 1 %; микротвердость 900...1200 HV; прочность сцепления не менее 80 МПа; высокая коррозионная стойкость, износостойкость.

Для нанесения данного материала используется один из перспективных способов ГТН — высокоскоростной метод (HVOF). Метод основан на постоянном горении газа при высоком давлении внутри камеры сгорания, на ось которой подается порошкообразный напыляемый материал. Создаваемое высокое давление в камере сгорания смесью горючего газа (или жидкого топлива) и кислородом обеспечивает в профилированном сопле необходимую высокую скорость газового потока. Благодаря этому напыляемые частицы ускоряются до больших скоростей (600...800 м/с), что ведет к образованию плотных и с высокой адгезией покрытий.

Технология нанесения металлопокрытий включает подготовку поверхности, нанесение покрытий и контроль качества [6].

Применительно к деталям горно-добывающей промышленности была отработана технология напыления и выполнен комплекс работ по контролю качества покрытий и металлографические исследования. Результаты исследований подтвердили высокие эксплуатационные характеристики в условиях, характерных для работы данных деталей, что позволило рекомендовать нанесение данного покрытия на поверхности, подверженные абразивному износу.

Также специалистами ООО "ТСЗП" проведена работа по восстановлению изношенных и упрочнению деталей бурового и добывающего оборудования методом высокоскоростного газопламенного напыления для ОАО "Сургутнефтегаз", ВНИИБТ, "Уралмаш-БО", ОАО "Интегра", ООО "Радиус Сервис", ОАО "Волгабурмаш", ООО "Нефтебурсервис".

В ходе работы было выполнено газотермическое нанесение покрытий на обширную номенклатуру деталей таких, как детали турбобура, ствол и плавающая труба вертлюга, шток выравнивающий гидродомкрата, шток цилиндра подъема мачты, детали гидравлических ударных механизмов, сердечники нелицевые наддолотных амортизаторов, валы насосов, плунжеры насосов, корпус насоса гидромотора, детали телеметрии для горизонтального бурения, промежуточная шестерня, корпус муфты повышенных передач, передний суппорт с главным клапаном и др. (рис. 4, см. 2-ю стр. обложки).

Проведенные работы по восстановлению и упрочнению деталей бурового и добывающего оборудования методом высокоскоростного газопламенного напыления позволили существенно продлить срок их эксплуатации по сравнению с изделиями без покрытий.

Нанесение защитных покрытий на детали бурового оборудования, в частности матрицу буровой шарошки, выполняется с помощью манипулятора, за счет чего исключается влияние человеческого фактора и обеспечивается требуемое качество покрытий (рис. 5, см. 2-ю стр. обложки).

При работе бурового оборудования поверхность буровой шарошки подвержена высокому абразивному износу. Твердосплавные зубья выламываются из материала основы из-за абразивного износа поверхности матрицы. Нанесение покрытия методом высокоскоростного газопламенного напыления позволяет надежно защитить матрицу шарошки от абразивного износа на весь срок службы, продляя ее ресурс до уровня зарубежных

аналогов, особенно при проходке сложных пород (рис. 6, см. 2-ю стр. обложки).

Упрочнение матрицы шарошки путем высокоскоростного напыления порошков твердых сплавов позволило предотвратить выпадение твердосплавных зубков из шарошки из-за абразивного износа матрицы, тем самым обеспечило надежную работу бурового инструмента в течение всего заявленного срока службы. При стоимости напыления менее 10 % от стоимости готового изделия, средняя продолжительность работы шарошки увеличилась на 20...30 %.

Кроме напыления применяется наплавка зубьев фрезерованных шарошек твердыми сплавами. Применение покрытия на основе карбида вольфрама позволяет увеличить срок службы долота для вращательного бурения и межремонтные циклы бурового оборудования. Даже в мягкой горной среде стальная матрица долот без покрытия быстро изнашивается. Нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления покрытие на основе карбида вольфрама позволяет предотвратить выпадение алмазных зубьев.

В силу высокой плотности покрытия, нанесенные высокоскоростным газопламенным напылением, подлежат шлифованию и полировке до 14 класса шероховатости, что позволяет использовать карбид вольфрама для замены гальванического хромирования (рис. 7, см. 2-ю стр. обложки).

Выводы

Сжатые сроки, сложные грунты, агрессивные среды требуют применения современных технологий, более надежного оборудования. Для преодоления различного неблагоприятного воздействия на оборудование горно-добывающей отрасли, приводящего к его износу и разрушению (истира-

ние, удары, деформация и т. п.), оно должно быть изготовлено из специального материала.

Исходя из изложенного выше следует, что решение проблем износа горного оборудования носит комплексный характер, зависящий от выбора материала покрытия и способа его нанесения.

Проведенный анализ способов упрочнения и восстановления деталей показал, что наиболее эффективными являются процессы газотермического напыления.

Практический опыт нанесения защитных покрытий с помощью ГТН специалистами ООО "ТСЗП" позволил получить поверхности с необходимыми свойствами, повысить эксплуатационные характеристики, конкурентоспособность изделий на рынке, увеличить их наработку на отказ, а значит увеличить проходку, снизить себестоимость работ и получить дополнительную прибыль.

Список литературы

1. **Применения** технологии напыления полимочевины [Электронный ресурс] ООО "ППУ XXI век" Электрон. дан. Москва [2005] Режим доступа: www.ppu21.ru загл. с экрана.
2. **Горнодобывающая** промышленность [Электронный ресурс] / ООО "Завод "Техстроймаш" Электрон. дан. Санкт-Петербург [2007] Режим доступа: www.tsm-hardox.ru загл. с экрана.
3. **Универсальные** системы защиты от экстремального абразивного износа [Электронный ресурс] Компания МВМ Электрон. дан. Санкт-Петербург [2005] Режим доступа: www.mwmining.ru загл. с экрана.
4. **Теория** и практика нанесения защитных покрытий / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, А. Ф. Ильющенко и др. Минск: Беларуская навука, 1998. 583 с.
5. **Балдаев Л. Х.** Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.: Изд-во КХТ, 2004. 134 с.
6. **Хасуй А.** Наплавка и напыление / А. Хасуй, О. Моригаки; пер. с яп. В. Н. Попова; под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.

Н. Г. Валиев, д-р техн. наук, проф., **Р. А. Апакашев**, д-р хим. наук, проф.,
Д. И. Симисинов, канд. техн. наук, доц., **Ю. А. Лагунова**, д-р техн. наук, проф.,
УГГУ, г. Екатеринбург
E-mail: science@ursmu.ru, yu.lagunova@mail.ru

Применение технологии целенаправленного формирования микро- и нанокристаллической структуры конструкционной стали для повышения ресурса режущей цепи камнерезной машины

Рассмотрены результаты экспериментов, направленных на повышение ресурса звеньев режущей цепи камнерезной машины. Показано, что формирование микро- и нанокристаллической структуры металла обработкой соответствующего расплава повышает твердость конструкционной стали 12ХН3А на 17...20 %, износостойкость — на 14...18 %. Отмечена возможность получения заготовок износостойчивых несущих звеньев режущей цепи методом литья.

Ключевые слова: камнерезная машина, режущая цепь, повышение ресурса, наноструктурирование.

N. G. Valiev, R. A. Apakashev, D. I. Simisinov, Yu. A. Lagunova

Use of Technology Purposeful Formation of Micro- and Nanocrystalline Structure Steel for Improvement Resource Chain of Cutting Machines

The results of experiments carried out to improve the resource links in the chain cutting stone-cutting machines. It is shown that the use of technology purposeful formation of micro- and nanocrystalline structure increases the strength of structural steel 12ХН3А 17...20 % endurance — 14...18 % without additional thermo mechanical processing. We propose the appropriate technology for supporting work pieces cutting chain links by casting.

Keywords: stone-cutting machine, cutting chain, improving the resource, nanostructuring.

Баровая камнерезная машина — это добычная машина с исполнительным органом в виде бара для вырезания из массива монолитов или блоков.

Исполнительный орган баровой камнерезной машины — консоль-корпус, представляет собой плоскую удлиненную конструкцию, по периферии которой в направляющих движется бесконечная цепь, армированная твердосплавными резцами.

При работе баровых машин их рабочие органы интенсивно изнашиваются, причем наиболее слабым элементом является режущая цепь, поскольку твердосплавные вставки по мере необходимости могут заменяться.

Пути совершенствования баровой камнерезной машины — повышение ресурса и надежности исполнительного органа, что в настоящее время достигается применением алмазов и сверхтвердых материалов, заменой цепи гибким несущим эле-

ментом и т. п. Однако данные мероприятия оказывают положительное влияние только на ресурс режущих элементов баровой цепи, не увеличивая износостойкость ее несущих звеньев.

Поэтому одним из основных требований к стали, используемой для изготовления таких деталей, как режущая цепь, является высокая прочность и износостойкость.

Сталь 12ХН3А относится к конструкционной легированной хромоникелевой стали. Такая сталь является одной из самых распространенных конструкционных сталей, так как после цементации приобретает высокую твердость, прочность, упругость и сопротивление ударным нагрузкам.

Из стали 12ХН3А изготавливают цементируемые, работающие на износ при больших нагрузках детали, к которым предъявляются требования пластичности и вязкости сердцевины при высокой

поверхностной прочности. Дополнительное легирование хромистых сталей ванадием (сталь 15ХФ) способствует получению более мелкого зерна, что улучшает пластичность и вязкость. Формирование однородной и мелкозернистой структуры положительно влияет на повышение большинства эксплуатационных свойств металлических материалов.

В настоящее время в мировой практике при получении большинства металлов и сплавов их требуемые свойства обеспечиваются за счет управления формированием структуры. При этом микро- и наноструктурированные материалы составляют прорывное направление развития металлургии.

Существует два основных подхода к получению таких металлических материалов — метод компактирования ультрамелкодисперсных порошков и метод интенсивной пластической деформации. Однако методу компактирования присущи такие недостатки, как сохранение остаточной пористости, внесение примесей при изготовлении, малые размеры получаемых металлических заготовок. Эти недостатки могут быть преодолены при использовании другого подхода, заключающегося в измельчении зерновой структуры в объемных образцах, происходящего при их интенсивной пластической деформации. Наиболее известными вариантами метода интенсивной пластической деформации являются метод деформации кручением под высоким давлением (ИПДК) и метод равноканального углового прессования (РКУП) [1].

Обработка исходной литой заготовки прессованием, ковкой, прокаткой и т. д. в настоящее время обычно входит в типовой технологический процесс получения металлоизделий. При пластической деформации металлов и сплавов структура их значительно изменяется, что приводит к изменению физико-механических свойств. Если исходный металл имеет зерна различной формы и ориентировки, то при деформации наблюдается переориентировка отдельных зерен. Они вытягиваются в направлении деформирования, образуя волокнистую структуру. Смещения и повороты одних зерен относительно других приводят к межкристаллитной деформации и формированию металлографической текстуры, что также может оказывать существенное влияние на технологические и эксплуатационные свойства металла. В некоторых случаях текстуру в изделиях получают намеренно (трансформаторная сталь, сплавы для постоянных магнитов), в других ее стараются устранить

(листовые сплавы меди и алюминия для глубокой вытяжки). Так, при волочении проволоки зерна металла вытягиваются вдоль одной оси в направлении растяжения металла. Это приводит к образованию текстуры и обычно дает улучшение механических свойств металла [2].

Необходимо учитывать, что с увеличением степени холодной деформации металла растет и величина деформационного упрочнения или наклепа, что сказывается на пластичности металла.

В УГГУ разработаны научно-технические основы технологического метода потоковой обработки металлических расплавов, обеспечивающего кристаллизацию микро- и наноструктурированных металлов и сплавов с соответствующими улучшенными физико-механическими свойствами [3]. Метод позволяет формировать микро- и наноструктуру твердого металла, получать текстуру, улучшать физические и механические свойства металла путем обработки не в твердом, а еще в жидком состоянии, с ничтожными энергетическими затратами на деформацию. Можно выполнять обработку металла давлением, волочение или штамповку еще до кристаллизации. Способ заключается в том, что металлический расплав под действием силы тяжести проливают через огнеупорные трубки, поперечное сечение которых достаточно для вытекания расплава, а длина трубок обеспечивает ламинарность потока обрабатываемого расплава. Проведенная экспериментальная апробация способа свидетельствует, что потоковая обработка улучшает физико-механические свойства литого металла, в частности повышает его твердость и износостойкость при стабильном химическом составе [4].

Принимая во внимание отмеченные выше данные, в настоящей работе были проведены эксперименты в целях изучения влияния потоковой обработки стали 12ХН3А на свойства образующегося при последующей кристаллизации слитка, в частности — на его твердость и износостойкость.

Методика экспериментов заключалась в следующем. Сталь 12ХН3А плавил в алундовых тиглях в печи с восстановительной атмосферой. Перегрев выше температуры плавления не превышал 80 К. Потоковую обработку проводили, пропуская расплав через капиллярные трубки круглого сечения. Для этого в отверстие в дне тигля с помощью огнеупорной замазки крепили связку из десяти алундовых трубок внутренним диаметром 1,4 мм и длиной 130 мм каждая. По мере плавления жидкий металл стекал через трубки в другой, менее нагретый

тый тигель и кристаллизовался. Затем затвердевший металл вновь нагревали до температуры плавления и, во избежание образования усадочных раковин, охлаждали в рабочей зоне печи со скоростью 0,2...0,3 К/с. Для последующих сравнительных испытаний в аналогичном температурном режиме также проводили контрольное плавление и кристаллизацию исследуемой стали, минуя стадию направленного течения в жидком состоянии.

Полученные слитки цилиндрической формы делили на равные части. Для предотвращения изменения физических свойств металла в область резания подавали специальную жидкость для смазки и охлаждения. Плоские поверхности полученных образцов подвергали ручной полировке до зеркального блеска. Образцы имели диаметр 20 мм, высоту 7 мм. Всего изготовили восемь образцов. Четыре из них были контрольными, не испытывавшими течение через трубки в жидком состоянии.

Для контроля химического состава сплава проводили спектральный химический анализ проб полученных слитков. При этом было установлено, что материал применявшихся трубок в металлическом расплаве за время контакта не растворяется, химический состав стали не изменяется.

Износостойкость стали изучали по сравнительной методике. Для этого определяли убыль массы образцов после цикла трения в идентичных условиях. Опыты проводили на установке по изучению фрикционных свойств горных пород и минералов. Взвешивали образцы на аналитических весах с точностью $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ г. Расчетная относительная погрешность определения износостойкости составила 6 %.

Образцы стали, прошедшей перед кристаллизацией потоковую обработку, показали повышение устойчивости к истиранию. В проведенных сериях экспериментов соответствующее уменьшение потери массы образцов при трении составило 14...18 %.

Измерения твердости металла проводили методом Бринелля на приборе ТШ-2М. На каждой из двух горизонтальных поверхностей образца получали по одному отпечатку шарика. Диаметр отпечатка измеряли с помощью микроскопа, имевшего цену деления измерительной шкалы 0,05 мм. По диаметру отпечатка, известной нагрузке и диаметру шарика рассчитывали число твердости металла по Бринеллю НВ.

Представленные в таблице значения числа твердости стали рассчитаны по данным нескольких

Результаты испытаний образцов стали 12ХН3А

Образец	Твердость, НВ	Износ (убыль массы), %
Контрольный	217	2,22
После обработки перед кристаллизацией	256	1,82

независимых серий опытов, выполненных в разное время для изучения воспроизводимости обнаруженного явления. При этом значения чисел твердости контрольных образцов в сериях и между сериями отличаются не более чем на 2 %, а значения чисел твердости образцов, испытывавших потоковую обработку в расплавленном состоянии — на 4 %.

Точность показаний измерительного прибора в каждой серии измерений контролировали по образцовой мере твердости, прилагаемой к прибору. Расчетная погрешность по результатам измерений твердости образцовой меры составила 2 %.

Проведенные в настоящей работе эксперименты свидетельствуют о влиянии потоковой обработки стали 12ХН3А на ее твердость и износостойкость. Образцы, испытывавшие направленное течение в расплавленном состоянии, имеют повышенную на 17...20 % твердость и на 14...18 % износостойкость. Причем, с наибольшей вероятностью, наблюдаемое изменение механических свойств металла обусловлено, в первую очередь, особенностями его текстуры, формирующейся при направленном течении в расплавленном состоянии, а не вариациями химического состава.

На рис. 1 представлены растровые изображения структуры металлов, испытывавших термомеханическую обработку в твердом состоянии (темпформинг) и потоковую обработку в расплавленном состоянии. После темпформинга (формовка

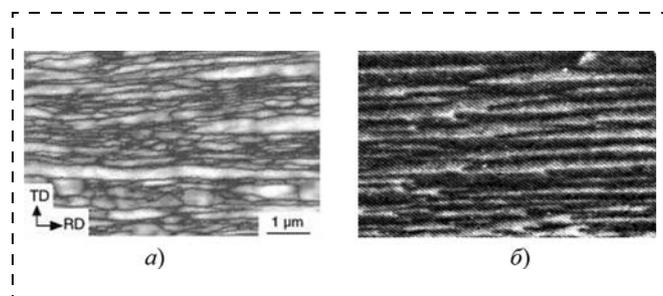


Рис. 1. Микроструктуры металлов: а — после темпформинга (RD-направление прокатки) [5]; б — после потоковой обработки в расплавленном состоянии ($\times 3200$) [6]

образцов с эквивалентной деформацией порядка 1,7 после отпуска стали при 500 °С) происходит удлинение зерен вдоль направления прокатки. Комбинация наноразмерной структуры материала и контролируемой текстуры прокатки позволяет радикально повысить как прочность, так и ковкость стали при низких температурах [5]. Важно, что в результате потоковой обработки металл приобретает аналогичную структуру без применения интенсивной пластической деформации и температурной обработки в твердом состоянии [6].

Следующим этапом представленных исследований является изготовление опытной партии несущих звеньев баровой цепи (рис. 2). Помимо высоких эксплуатационных требований выбранная деталь обладает высокой повторяемостью в производстве, что обусловлено большим числом деталей в комплекте бара, их унификацией и повышенным расходом при эксплуатации. Для одной баровой машины расход несущих звеньев может составлять до 200 шт./год, что определяет крупносерийный тип производства этих деталей. Небольшие размеры детали и ее симметричная форма обеспечивают технологичность заготовки при ее получении с использованием технологии целенаправленного формирования структуры.



Рис. 2. Звенья режущей цепи

Предполагается центральный литниковый стержень литниковой системы заменить на огнеупорные трубки. Количество, длина и поперечное сечение трубок должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить формирование наноструктурированной металлической заготовки при высокой производительности процесса литья. Конечная цель — получение литьем заготовок несущих звеньев режущей цепи с высокими технико-экономическими показателями [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации постановления Правительства России от 9 апреля 2010 г. № 218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства".

Список литературы

1. Ваганов В. Е., Кечин В. А., Евдокимов И. А. Современные достижения по получению материалов с нанокристаллической структурой // Вестник научно-технического развития. 2010. № 6 (34). С. 3—11.
2. Павлов В. В. О "кризисе" кинетической теории жидкости и затвердевания. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1997. 392 с.
3. Пат. 2445187 Российская Федерация, МПК⁷ В22D 7/00. Способ обработки металлического расплава. Апакашев Р. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "УГГУ". № 2010121283; заявл. 25.05.2010; опубл. 27.11.2011, Бюл. № 33.
4. Апакашев Р. А. Влияние предкристаллизационного течения расплавов меди и алюминия на механические свойства получаемых слитков // Известия вузов. Цветная металлургия. 2010. № 2. С. 41—44.
5. Yuuji Kimura, Tadanobu Inoue, Fuxing Yin and Kaneaki Tsuzaki. Inverse Temperature Dependence of Toughness in an Ultrafine Grain-Structure Steel // Science. 2008. Vol. 320. N 5879. P. 1057—1060.
6. Майборода В. П. Влияние потоковой обработки расплава на структуру алюминия, никеля и меди // Расплавы. 1991. № 3. С. 115—117.
7. Валиев Н. Г., Гармс А. Я., Бычков Г. В. Повышение эффективности баровых и алмазно-канатных камнерезных машин для добычи природного камня открытым способом // Известия вузов. Горный журнал. 2010. № 8. С. 13—17.

УДК 622.243

А. П. Комиссаров, д-р техн. наук, проф., С. Г. Фролов, канд. техн. наук, проф., Г. В. Прокопович, инж., УГГУ, г. Екатеринбург

Влияние конструкции породоразрушающего инструмента на эффективность ударного бурения^{НГ}

На основе прикладной теории удара получены зависимости между конструктивными параметрами инструмента буровых машин ударного действия и основными показателями процесса бурения с учетом динамических характеристик горной породы и волнового характера передачи энергии удара в породу. Разработан алгоритм расчета показателей рабочего процесса.

Ключевые слова: ударное бурение, горная порода, инструмент буровой машины.

A. P. Komissarov, S. G. Frolov, G. V. Prokopovich

Influence Construction Rock Tool on Effectiveness Impact Drill

On the basis applied theory of impact there are formulated about construction parameters tool drill machines impact action and main indices drilling with regard dynamic characters rock and wave character transmission energy impact to rock. Elaboration algorithm of calculation indices operating process.

Keywords: impact drilling, rock, tool of drill machine.

Буровые машины ударного действия благодаря своим уникальным характеристикам (способность разрушать горные породы любой крепости при малых массе и габаритах машины) широко применяются в горном деле, особенно при разработке рудных залежей.

В связи с ростом единичной мощности оборудования происходит перевооружение буровых машин ударного действия — возрастает типоразмер коронок (до 500 мм и более), разрабатываются различные виды вооружения буровых коронок. Поэтому при разработке новых высокопроизводительных буровых машин ударного действия все большее значение приобретают вопросы энерго- и ресурсосбережения.

Изыскание путей дальнейшего повышения технического уровня буровых машин ударного действия требует решения ряда задач, основными из которых являются следующие:

определение динамических характеристик элементов ударной системы — ударника, породоразрушающего инструмента и горной породы;

установление зависимостей между параметрами инструмента и показателями процесса бурения (скорости бурения, степени передачи энергии удара в породу) с учетом волнового характера передачи энергии удара в породу и динамических характеристик элементов ударной системы.

В качестве объекта исследования приняты буровые машины с погружным ударником, оснащенные лезвийным или штыревым инструментом.

Известно [1, 2], что основной динамической характеристикой элементов ударных систем являются ударная жесткость элемента, определяющая как соотношение между силой, действующей в сечении элемента, и скоростью смещения сечения при ударном воздействии, и степень передачи энергии удара при соударении элементов.

Ударные жесткости ударника и инструмента (кг/с) определяются из выражений:

$$C_{\text{уд}} = R_{\text{уд}} S_{\text{т.уд}}; \quad (1)$$

$$C_{\text{ин}} = R_{\text{ин}} S_{\text{т.ин}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{уд}}$, $R_{\text{ин}}$ — соответственно акустическое (волновое) сопротивление материала ударника и

Характеристики ударников

Параметры	Типы ударников								
	М29Т	П1-75	М1900	М48	М32К	П125	П160	Импульс-5К	Импульс-9К
Энергия удара, Дж	50	67	75	93	140	150	280	85	100...160
Предударная скорость, м/с	7,90	6,57	9,39	8,15	7,13	7,32	7,04	6,87	6,0...7,6
Ударный импульс, Н·с	12,9	20,4	16,0	22,8	39,3	41,0	79,5	24,7	
Длительность удара*, мкс	44	80	34	55	40	115	135	102	182
Масса ударника, кг	1,6	3,1	1,7	2,8	5,5	5,6	11,3	3,6	5,58
Ударная жесткость ударника, т/с	62	62	28	68	150	71	130	54	60
Коэффициент $K_{уд}$	3,5	3,2	1,1	2,7	2,2	2,9	3,1	3,1	3,9

* Расчетное значение.

инструмента, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $S_{т.уд.}$, $S_{т.ин.}$ — площадь ударного торца соответственно ударника и инструмента, м^2 .

Из условия обеспечения максимального КПД удара жесткости ударника и инструмента принимают равными по величине.

На основе анализа взаимосвязей между параметрами ударного механизма (табл. 1) установлена зависимость для экспресс-оценки величины ударной жесткости ударника

$$C_{уд} = K_{уд} A_{уд} / (v_{уд}^2 t_{уд}), \quad (3)$$

где $K_{уд} = 1,1 \dots 3,9$ — коэффициент, зависящий от конструкции ударника (рис. 1); $A_{уд}$ — энергия удара, Дж; $v_{уд}$ — предударная скорость ударника, м/с; $t_{уд}$ — длительность удара, с.

Ударная жесткость породы зависит от формы и числа инденторов и в общем виде составляет [3]

$$C_{п}(h) = R_{п} S_{к}(h), \quad (4)$$

где $R_{п} = a_{п} \rho_{п}$ — акустическое сопротивление породы; $a_{п}$ — скорость распространения продольной волны деформации в породе, м/с; $\rho_{п}$ — плотность породы, $\text{кг}/\text{м}^3$; $S_{к}(h)$ — площадь проекции поверх-

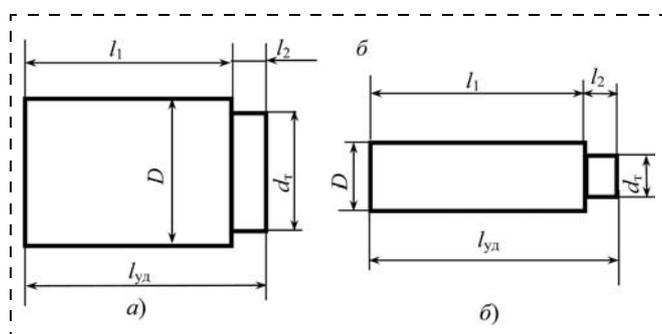


Рис. 1. Виды ударников: а — пневмоударник; б — гидроударник; d_r — диаметр ударного торца; $l_{уд}$ — длина ударника

ности контакта инденторов с породой на плоскость, перпендикулярную направлению удара, м^2 .

При лезвийном инструменте с клиновидными инденторами величина $S_{к}(h)$ пропорциональна глубине внедрения инструмента. Максимальное значение площади

$$S_{кл \max} = h_{\max} D N_{л} \text{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (5)$$

где h_{\max} — максимальное значение глубины внедрения инструмента, м; D — диаметр инструмента, м; $N_{л}$ — число лезвий; α — угол заострения лезвий, рад.

При штыревом инструменте с цилиндрическими штырями

$$S_{кш} = \sum_{i=1}^{N_{ш}} S_{ши} = 0,25 \pi D^2 K_{ш},$$

где $S_{ши}$ — площадь сечения i -го штыря, м^2 ; $N_{ш}$ — число штырей; $K_{ш}$ — коэффициент суммарной площади сечений штырей.

В работе проведен вычислительный эксперимент на основе разработанной методики расчета параметров буровых машин ударного действия [4] и установлены зависимости между параметрами инструмента и показателями процесса бурения — максимальной глубиной внедрения инструмента h_{\max} , объемом разрушения породы за удар $V_{разр.}$, числом ударов за один оборот инструмента $Z_{об.}$, частотой вращения инструмента n и скоростью бурения $v_б$ (табл. 2 и 3).

Объем разрушения породы за удар составит:
при лезвийном инструменте

$$V_{разр.л} = 0,5 h_{\max}^2 D N \text{tg}(\alpha/2),$$

при штыревом инструменте

$$V_{разр.ш} = 0,5 h_{\max} S_{кш}.$$

Результаты расчета показателей рабочего процесса при лезвийном инструменте

Исходные данные							Расчетные данные					
D , м	$N_{л}$	α , °	$A_{уд}$, Дж	$v_{уд}$, м/с	$C_{уд}$, Т/с	$R_{п}$, кг/(с · м ²)	h_{max} , мм	$S_{к.макс}$, мм ²	$V_{разр}$, см ³	$Z_{об}$	n , мин ⁻¹	$v_{б}$, м/мин
0,15	2	110	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,83	784	0,72	22	80,0	0,15
0,15	3	110	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,80	1160	1,04	15	118	0,21
0,15	4	110	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,76	1510	1,33	12	154	0,27
0,15	3	90	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,83	824	0,75	21	84,1	0,15
0,15	3	130	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,74	1680	1,46	11	171	0,30
0,15	3	110	300	5	75	$1,5 \cdot 10^7$	2,72	1750	2,38	10	178	0,48
0,15	3	110	300	5	175	$1,5 \cdot 10^7$	1,32	848	0,56	21	86,5	0,11

Таблица 3

Результаты расчета показателей рабочего процесса при штыревом инструменте

Исходные данные						Расчетные данные					
D , м	$K_{ш}$	$A_{уд}$, Дж	$v_{уд}$, м/с	$C_{уд}$, Т/с	$R_{п}$, кг/(с · м ²)	h_{max} , мм	$S_{к.макс}$, мм ²	$V_{разр}$, см ³	$Z_{об}$	n , мин ⁻¹	$v_{б}$, м/мин
0,15	0,05	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,74	884	1,53	20	90	0,16
0,15	0,10	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,58	1770	2,80	10	180	0,28
0,15	0,15	300	5	125	$1,5 \cdot 10^7$	1,46	2650	3,86	6,7	270	0,39
0,15	0,10	300	5	75	$1,5 \cdot 10^7$	2,36	1770	4,18	10	180	0,43
0,15	0,10	300	5	175	$1,5 \cdot 10^7$	1,19	1770	2,12	10	180	0,21

Число ударов за один оборот инструмента:
при лезвийном инструменте

$$Z_{об.л} = \frac{\pi D^2}{4S_{кл.макс}}$$

при штыревом инструменте

$$Z_{об.ш} = K_{ш}^{-1}$$

Частота вращения инструмента и скорость бурения рассчитываются по известным зависимостям [3].

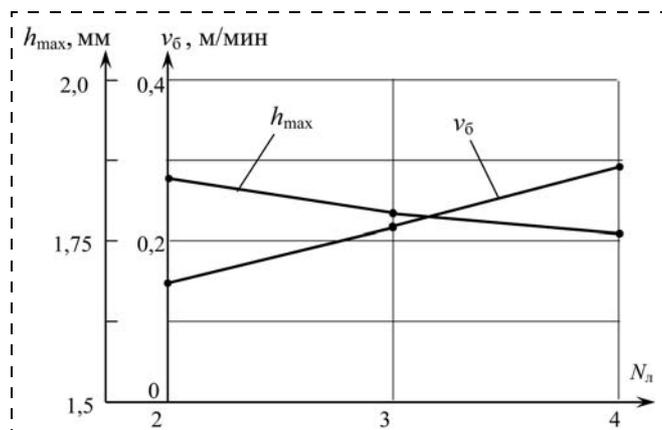


Рис. 2. Зависимости максимальной глубины внедрения инструмента и скорости бурения от числа лезвий при $A_{уд} = 300$ Дж; $v_{уд} = 5$ м/с; $C_{ин} = 1,25 \cdot 10^5$ кг/с; $R_{п} = 1,5 \cdot 10^7$ кг/(с · м²); $D = 0,15$ м; $\alpha = 110^\circ$

На рис. 2—4 приведены зависимости показателей от параметров лезвийного инструмента — числа лезвий, угла заострения лезвий и ударной жесткости инструмента.

При увеличении числа лезвий (см. рис. 2) возрастает площадь контакта инструмент—порода и, соответственно, ударная жесткость породы, т. е. сопротивление породы динамическому внедрению инструменту.

Одновременно возрастает сила, действующая на контакте инструмент—порода, что определяет повышение степени передачи энергии удара в породу.

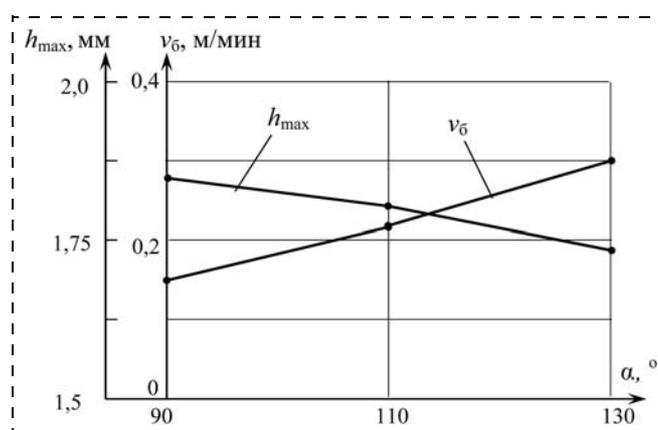


Рис. 3. Зависимости максимальной глубины внедрения инструмента и скорости бурения от угла заострения лезвий при $A_{уд} = 300$ Дж; $v_{уд} = 5$ м/с; $C_{ин} = 1,25 \cdot 10^5$ кг/с; $R_{п} = 1,5 \cdot 10^7$ кг/(с · м²); $D = 0,15$ м; $N_{л} = 3$

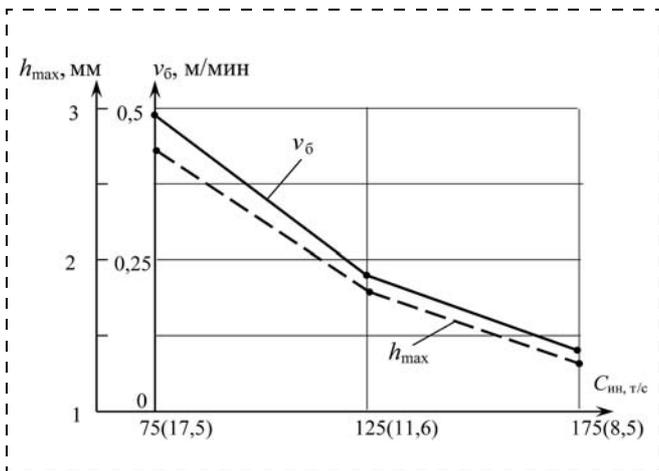


Рис. 4. Зависимости максимальной глубины внедрения и скорости бурения от ударной жесткости лезвийного инструмента при $A_{уд} = 300$ Дж; $v_{уд} = 5$ м/с; $R_{п} = 1,5 \cdot 10^7$ кг/(с · м²); $D = 0,15$ м; $\alpha = 110^\circ$; $N_{л} = 3$ (в скобках приведены значения $S_{к,мах}$ в см²)

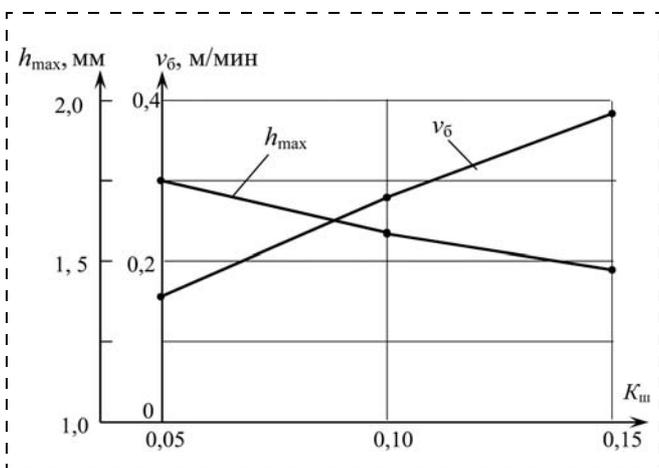


Рис. 5. Зависимости максимальной глубины внедрения инструмента и скорости бурения от коэффициента площади сечений штырей при $A_{уд} = 300$ Дж; $v_{уд} = 5$ м/с; $C_{ин} = 1,25 \cdot 10^5$ кг/с; $R_{п} = 1,5 \cdot 10^7$ кг/(с · м²); $D = 0,15$ м

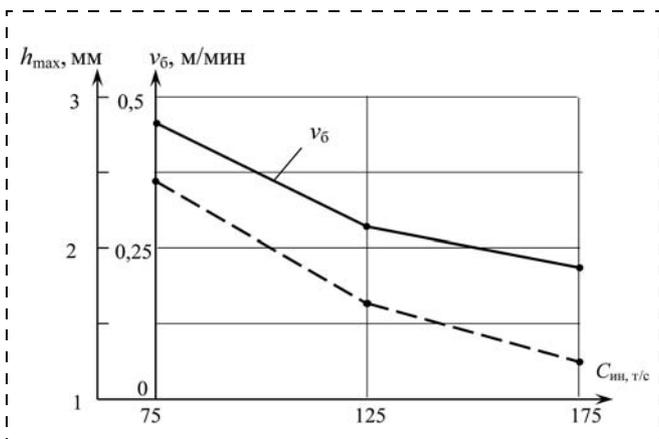


Рис. 6. Зависимости максимальной глубины внедрения и скорости бурения от ударной жесткости штыревого инструмента при $A_{уд} = 300$ Дж; $v_{уд} = 5$ м/с; $R_{п} = 1,5 \cdot 10^7$ кг/(с · м²); $D = 0,15$ м; $S_{кш} = 17,7$ см²

Ввиду воздействия двух противодействующих силовых факторов (ударной нагрузки и силы сопротивления породы) глубина внедрения инструмента практически не изменяется при увеличении числа лезвий (отклонение от среднего значения составляет $\pm 5\%$).

В конечном счете, при увеличении числа лезвий объем разрушения породы за один удар увеличивается практически прямо пропорционально числу лезвий и, соответственно, возрастает скорость бурения буровой машины.

При увеличении угла заострения лезвий α (см. рис. 3) возрастает величина ударной жесткости породы, глубина внедрения инструмента также практически не изменяется, а объем разрушения породы и скорость бурения возрастают практически прямо пропорционально величине $\text{tg} \frac{\alpha}{2}$.

На рис. 4 приведены зависимости показателей процесса бурения от ударной жесткости лезвийного инструмента.

Как видно, сила, действующая на контакте инструмент—порода, изменяется практически обратно пропорционально величине ударной жесткости [4]. Таким же образом изменяется и скорость бурения.

На рис. 5 и 6 приведены зависимости показателей рабочего процесса от параметров штыревого инструмента — коэффициента суммарной площади сечений штырей и ударной жесткости инструмента.

Как следует из приведенных графиков, вид зависимостей показателей рабочего процесса от параметров штыревого и лезвийного инструментов практически совпадает.

В отличие от лезвийного инструмента при штыревом инструменте число штырей и, соответственно, площадь контакта инденторов с породой может изменяться в широком диапазоне, что, с одной стороны, обеспечивает прочность штырей при применении мощных ударных механизмов ($A_{уд} \gg 1$ кДж) и, с другой стороны, за счет увеличения при этом ударной жесткости породы возрастают усилия на контакте инструмент—порода и в конечном счете повышается степень передачи энергии удара в породу и увеличивается объем разрушения породы за один удар.

Выводы

1. Конструктивные параметры инструмента (площадь ударного торца, форма и количество инденторов) определяют ударные жесткости ин-

струмента и породы и в конечном счете основные показатели процесса бурения.

2. Штыревые коронки обеспечивают относительно большую ударную жесткость породы и соответственно существенное повышение степени передачи энергии удара в породу и эффективности ударного бурения.

3. Одной из основных задач исследований рабочего процесса буровых машин ударного действия является обоснование рационального соотношения между ударными жесткостями породы и инструмента, при котором достигается увеличение скорости бурения.

Список литературы

1. Соколинский В. Б. Машины ударного разрушения. М.: Машиностроение, 1982. 184 с.
2. Алимов О. Д., Манжосов В. К., Еремьянц В. Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. М.: Наука, 1985. 215 с.
3. Иванов К. И., Варич М. С., Дусев В. И. и др. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1974. 408 с.
4. Комиссаров А. П., Быков Д. В., Прокопович Г. В. Выбор рациональных параметров породоразрушающего инструмента буровых машин ударного действия // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 7. С. 22–24.

ИНФОРМАЦИЯ

ОТ РЕДАКЦИИ

В предыдущем номере журнала была опубликована статья Ю. В. Дмитрака, А. Н. Картавого, Н. Г. Картавого, В. А. Серова "Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов".

Учитывая важность проведенного авторами исследования, редакция сочла возможным разместить на страницах журнала поступившие на статью рецензии, которые предлагаются вашему вниманию.

Надеемся, что авторы сочтут возможным направить ответ на рецензии, который будет опубликован.

Рецензия на статью

Ю. В. Дмитрака, А. Н. Картавого, Н. Г. Картавого, В. А. Серова "Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов"

Судя по содержанию, статья посвящена разработке нового рабочего органа для выемочных агрегатов взамен струговому. Поскольку струговой исполнительный орган имеет ограничение области применения по сопротивляемости угля резанию, предлагается дисковый исполнительный орган, оснащенный тангенциальными резами. Диск прорезает в груди забоя щель на глубине 0,1...0,3 м, а оставшуюся пачку угля взламывает специальным устройством.

В статье приводятся результаты исследований этого рабочего органа, которые показывают, что процесс разрушения угля этим органом имеет меньшую энергоемкость по сравнению с комбайновыми шнеками. Для увеличения эффективности процесса разрушения предлагается применить вибрационное воздействие на резы.

Разработка минизахватного рабочего органа для выемочных агрегатов является весьма актуальной, поскольку может расширить область их применения в тонких пластах и повысить показатели эксплуатации.

В статье предлагается, в рамках проекта НИР, создать высокоскоростной выемочный агрегат (ВСА) с повышенными режимными параметрами: скоростью подачи до 30 м/мин и скоростью резания до 10 м/с, с комбинированным минизахватным рабочим органом (РО) с вибрационным воздействием на его режущий инструмент.

Кроме исследованного РО в схеме ВСА предлагается применить цепную систему подачи с вынесенными на штрек приводами. Цепь в лаве является анахронизмом. Она является опасным элементом, источником аварий. Еще на кафедре ГМК

под руководством Н. Г. Картавого аспирантом В. Синельниковым было доказано, что в цепи, проложенной по лаве, вследствие поперечных колебаний, возникают опасные динамические нагрузки, от которых трудно защититься.

Отбитую массу угля предлагается грузить специальным лемехом конвейера. Вместе с тем ничего не говорится, каким образом куски угля, отбитые со скоростью 10 м/с, лягут на дорожку перед конвейером, а не полетят в крепь.

Агрегат в горных машинах принято понимать как совокупность конструктивно увязанных машин: выемочной, доставочной и крепи с системами управления в плоскости пласта, по его гипсометрии и мощности.

Однако в статье отсутствуют сведения о структуре агрегата. Изложенные в статье данные касаются только исполнительного органа (РО) выемочной машины и ничего не говорится о других функциональных машинах агрегата.

Приведенные низкие показатели энергоемкости работы ВСА и результаты исследования динамических процессов в ВСА без представления самого объекта исследований являются несостоятельными.

В общем, в статье изложены результаты исследований дискового минизахватного рабочего органа горной машины, которые имеют научный и практический интерес. Вместе с тем данные об агрегате для разработки маломощных угольных пластов в статье отсутствуют.

Д-р техн. наук, проф. И. Л. Пастоев

*Рецензию заслуженного конструктора РФ,
д-ра техн. наук Б. К. Мышляева см. на стр. 39.*

УДК 621.396.945

М. А. Семенов, канд. техн. наук, доц., **С. Л. Иванов**, д-р техн. наук, проф.,
Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", г. Санкт-Петербург

E-mail: semenov021144@rambler.ru, lisa_lisa74@mail.ru

Шахтная оперативная и аварийная беспроводная связь

Представлена система беспроводной импульсной передачи информации в подземные выработки через массив горных пород с использованием ретрансляторов. В системе применяется временное разделение входных и выходных сигналов ретранслятора.

Ключевые слова: система беспроводной передачи, временное разделение, ретранслятор, индивидуальный переносной приемник, воспроизводящее устройство.

M. A. Semenov, S. L. Ivanov

Mining Operational and Emergency Wireless Communications

In the article a system of the pulse wireless communication through the rock mass in underground works, with a use of repeaters, is presented. The system uses time-based separation of the input and output signals of repeaters.

Keywords: system of wireless transmission, time division, relay, individual portable radio, playback device.

Эффективность работы горно-добывающих предприятий и уровень безопасности труда на них во многом определяются состоянием подземной связи и, в первую очередь, беспроводной связи с подземными выработками. Беспроводные системы подземной связи способны передавать большие объемы оперативной информации в условиях нормальной работы горного предприятия, а также обеспечить защиту от потери управляемости подземными подразделениями и персоналом в условиях возникновения аварийных ситуаций. Существующие ныне системы шахтной телефонной связи, а также внедряемые в последнее десятилетие новые системы подземной радиосвязи на базе излучающего кабеля могут быть разрушены во время аварии и их нельзя будет использовать для спасения людей [3].

При использовании в качестве физического канала для распространения электромагнитных волн массива горных пород на первый план выдвигается такой параметр, как длина радиолинии или глубина проникновения передаваемой информации. Длина радиолинии, главным образом, зависит от интегральной проводимости среды (s , См/м) и частоты излучения несущего колебания (f , кГц). Коротковолновые радиотелефонные станции "Недра" и "Карат" при радиосвязи через горный массив ($f = 1,7$ МГц) обеспечивают дальность дей-

ствия в слабопроводящих средах ($s < 5 \cdot 10^{-4}$ См/м — известняки, гнейсы, диабазы) — 100...150 м. В среднепроводящих средах ($s = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ См/м — туфы, порфириды, бокситы, сухие песчаники) дальность уменьшается до 60...80 м, а в высокопроводящих средах ($s > 10^{-2}$ См/м — антрациты, аргиллиты, алевролиты, мокрые глины, кварц-серицитовые сланцы) до 20...30 м. При использовании частот ($f = 20 \dots 100$ Гц) дальность действия радиоканала увеличивается до 500...1000 м в тех же проводящих средах [2].

В Санкт-Петербургском государственном горном университете разработана система беспроводной импульсной передачи информации в подземные выработки через массив горных пород с использованием ретрансляторов [4, 5]. Схема расположения аппаратуры беспроводной передачи представлена на рис. 1.

На дневной поверхности располагается передающий комплекс, состоящий из передатчика электромагнитных сигналов низкой частоты с кодовой обработкой 1, блока питания 2 и передающей антенны 3.

Антенна представляет собой однопроводные электрические линии в виде нескольких лучей протяженностью до нескольких километров, заземленных на концах на обсадные трубы геологических

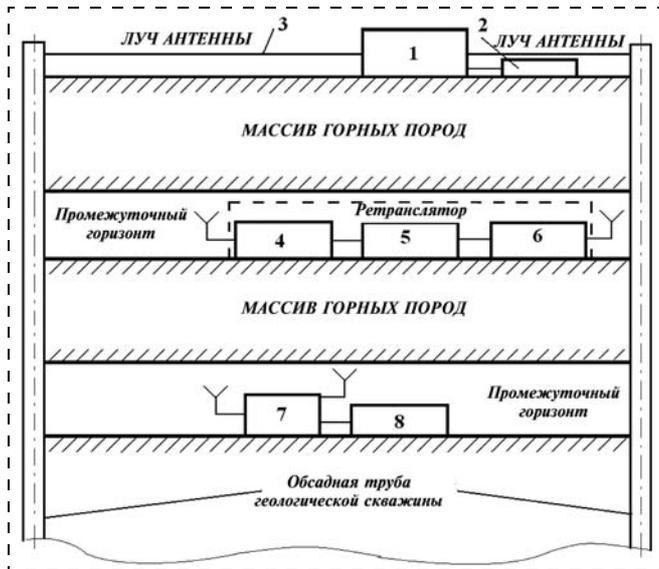


Рис. 1. Расположение аппаратуры беспроводной передачи информации на поверхности горного предприятия и в подземных выработках

скважин. Изолированный антенный провод подвешивается на специальных опорах по простиранию шахтного поля либо прокладывается в грунте в зависимости от горно-геологических условий. Передатчик запитывается от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В. Потребляемая мощность во время передачи не превосходит 5 кВт. Максимальный суммарный ток в лучах антенны составляет не более 15 А. Электромагнитное поле, создаваемое лучами антенны, распространяется сквозь толщу горных пород с вероятностью не менее 0,96 на глубину более 350 м.

На промежуточной выработке горного предприятия (верхнем горизонте) устанавливается мощный ретранслятор, состоящий из приемника кодовых сигналов 4 с приемной антенной, блока временного сдвига сигналов 5 и передатчика 6 с передающей антенной. Все блоки ретранслятора соединены последовательно. Передающая антенна ретранслятора выполнена изолированными проводами, проложенными по стенкам выработки и заземленными на концах.

На нижерасположенных горных выработках размещаются приемно-передающие комплекты, состоящие из ретранслирующего устройства 7 и преобразующе-воспроизводящего устройства 8.

В передающем комплексе речевая оперативная или аварийная информация преобразуется в аналоговую и далее в цифровой код, который с низкой частотой следования импульсов поступает в передающую антенну. Частота следования не превышает 3500 Гц. Токи антенны возбуждают электромагнитное поле в массиве горных пород, которое создает электродвижущую силу в антенне ретранслятора

промежуточного горизонта. Задача ретранслятора состоит в том, чтобы усилить принятый сигнал и передать его на нижерасположенные горизонты.

Отличительной особенностью данного ретранслятора является наличие в нем блока временного сдвига кодовых импульсов, который осуществляет временное разделение принимаемых и передаваемых сигналов. В существующих ретрансляторах для разделения сигналов приема и передачи применяют различные частоты, т. е. частотное разделение. Здесь такое разделение невозможно, так как повышение частоты передаваемого сигнала ведет к увеличению его затухания в массиве горных пород. Надежная работа обеспечивается только на частотах звукового спектра. Временное разделение строится на том, что прием и передача ретранслятора ведутся в разные моменты поступления импульсов управления (тактовых импульсов). В результате чего передатчик ретранслятора не создает помех приемнику сигналов. Принципиальная схема блока временного сдвига кодовых сигналов представлена на рис. 2.

Усиленные кодовые сигналы поступают на вход D_1 триггера T_1 и проходят на его выход Q_1 при наличии тактовых импульсов на входе C . Прошедшие импульсы запоминаются на выходе Q_3 триггера T_3 . При очередном тактовом импульсе, поступающем на входы C , кодовые импульсы проходят на выход Q_2 триггера T_2 . Таким образом, ретранслятор принимает кодовые импульсы в моменты прихода первого, четвертого и т. д. тактовых импульсов, а передает информацию в моменты второго, третьего и т. д. тактовых импульсов. Между принимаемыми и передаваемыми кодовыми сигналами получается интервал времени, равный периоду следования тактовых импульсов.

Электромагнитное поле антенны ретранслятора достигает нижерасположенной подземной выработки, где воспринимается приемно-передающим комплектом. Ретранслирующее устройство 7

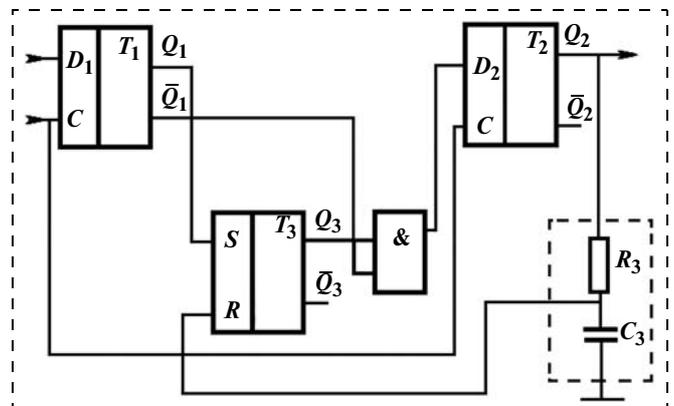


Рис. 2. Принципиальная схема разделения входных и выходных сигналов ретранслятора

(см. рис. 1) преобразует принятую кодовую информацию из цифрового вида в аналоговый и воспроизводит блоком δ в голосовом формате. Ретранслирующее устройство по своей структуре является аналогом ретранслятора, содержит все его блоки и выполняет усиление кодовых сигналов и их передачу на нижерасположенные выработки.

Представленная система беспроводной связи является системой подземного оповещения и обеспечивает оперативное предупреждение работающих под землей шахтеров о возникновении аварийных ситуаций.

Диспетчер шахты через расположенный на поверхности передающий комплекс оповещает о возникновении предаварийной или аварийной ситуаций. Его голосовое сообщение кодируется и передается через толщу горных пород кодовыми импульсами низкой частоты следования. В подземных выработках приемо-передающие устройства воспроизводят преобразованное из кодов голосовое сообщение, предупреждая работающих о возникновении опасности и мерах по ее устранению.

Система беспроводной связи обладает более высокой надежностью в сравнении с известными подземными системами передачи данных ("Талнах", "Микон", "Гранч" и др.), построенными на кабельных линиях. В большинстве случаев кабельные линии разрушаются во время аварий, лишая работающих под землей шахтеров каких-либо средств связи. При беспроводной связи, благодаря размещению передающего комплекса на поверхности шахты в безопасной зоне, а приемо-передающих комплексов в капитальных выработках, система передачи остается работоспособной как до возникновения аварии, так во время аварии и после нее.

Дальнейшее развитие системы беспроводной связи будет связано с разработкой индивидуального переносного приемного преобразующе-воспроизводящего устройства, встраиваемого в шахтерский светильник. В постоянную память устройства будет введена информация о персональном кодированном номере шахтера, соответствующем его табельному номеру, и коды сообщений аварийного оповещения. При активизации одного из видов этой постоянной информации преобразующе-воспроизводящее устройство озвучит шахтеру в голосовом формате передаваемое сообщение.

Подобное переносное устройство, называемое шахтерским абонентским, использовано в системе беспроводного подземного оповещения, персонального вызова, наблюдения и поиска людей "Радиус-2". Оно разработано Научным-внедренческим инженерным центром "Радиус" (г. Красноярск) [1]. Однако это устройство не воспроизводит

голосовые сообщения, а принятую информацию преобразовывает в мигание лампы светильника различной частоты и длительности и звуковые сигналы.

В преобразующе-воспроизводящее устройство будет введена также функция поиска людей, застигнутых аварией. Реализовывать ее будет акустический излучатель большой мощности (радиомаяк), автоматически включаемый после речевого оповещения об аварии. Если в результате аварии шахтеры окажутся отрезанными от путей выхода из шахты, то по излучающим сигналам они могут быть обнаружены поисковой аппаратурой горноспасателей и эвакуированы на поверхность.

Индивидуальный переносной приемник позволит диспетчеру осуществлять персональный вызов начальников участков, горных мастеров и других работников для разговоров по шахтной телефонной сети. Это улучшит организацию работ в шахте, повысит скорость реакции на нештатные ситуации, которые могут возникнуть в технологических процессах добычи и транспортировании горной массы, и на аварийные ситуации. Особенно это важно при возникновении неисправностей горно-шахтного оборудования на выемочных и проходческих участках. Централизованное управление ликвидацией возникшей ситуации позволит скоординировать действия горных мастеров смежных участков. Это сократит время восстановления горно-шахтного оборудования, уменьшит его простой или время холостой работы (например, участков конвейерных линий).

Преобразующе-воспроизводящее устройство должно функционировать в диапазоне рабочих температур от -10 до $+35$ °С, потребляемая мощность в режиме работы радиомаяка в пределах 150 мВт при напряжении питания 3,75 В. По уровню и виду взрывозащиты устройство должно соответствовать РВ ExibI X по ГОСТ Р 51330.10—99.

Список литературы

1. **В радиусе** повышенного внимания к шахтеру // Уголь Кузбасса. Март—апрель 2011. С. 68—69.
2. **Горная** энциклопедия / под ред. Е. А. Козловского. Т. 4. М.: Советская энциклопедия, 1989. 623 с.
3. **Давыдов В. В.** Шахтная беспроводная связь // Горный журнал. 2010. № 11. МГГУ. С. 221—228.
4. **Драбкин А. Л., Проскураков Р. М., Семенов М. А.** Система беспроводной импульсной однополосной передачи речевых сигналов через массив горных пород с использованием ретрансляторов // Известия вузов. Горный журнал. 2002. № 2. С. 107—111.
5. **Драбкин А. Л., Проскураков Р. М., Семенов М. А.** Устройство для оперативной беспроводной связи с подземными выработками / Пат. на изобретение. № 2158368. Бюлл. № 30. 2000.

УДК 621.313.04

И. М. Горелкин, асп.,

Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", г. Санкт-Петербург

E-mail: 007ivan@mail.ru

Полимерные трубы в шахтном водоотливе

Рассмотрены перспективы применения полимерных труб в шахтном водоотливе. Также обсуждены возможные ограничения использования полимеров в шахтных условиях, такие как статическое электричество, высокие рабочие давления, горючесть материалов. Предложены направления решения этих проблем.

Ключевые слова: полимерные трубы, полиэтилен, шахтный водоотлив, гидравлические сопротивления, энергоэффективность.

I. M. Gorelkin

Plastic Pipes in Mining Water Drainage

The possibility of plastic pipes application in mine dewatering. Also consider possible restrictions on the use of polymers in the mine conditions, such as static electricity-parameter, high operating pressure, flammability of materials. Describes the various methods of solving these problems.

Keywords: plastic pipes, polyethylene, mining water drainage, hydraulic resistance, energy efficiency.

Во время Второй Мировой войны из-за нехватки стали, которая использовалась для производства военной техники, в строительстве инженерных сетей стали применять полимерные материалы.

Первоначальное использование поливинилхлорида (ПВХ) постепенно сменилось более прочными и термостойкими полимерными материалами (табл. 1).

Разработка полиэтилена третьего поколения ПЭ 100 дала возможность применять полимерные материалы в водопроводных сетях при рабочих давлениях до 1,6 МПа. Бельгийской компанией "Solvay" уже разработан ПЭ 125, способный выдерживать гидростатическую нагрузку 12,5 МПа в течение 50 лет.

Рабочее давление трубы из такого материала рассчитывается по формуле [1]:

$$MOP = \frac{2MRS}{C(SDR - 1)},$$

где MOP — рабочее давление, МПа; MRS — минимальная длительная прочность, МПа; C — коэффициент запаса прочности, для водопровода

C = 1,25, для газопровода C = 2; SDR — отношение внешнего диаметра трубы к толщине стенки.

Для тонкостенных водопроводных труб SDR = 11. То есть в этом случае

$$MOP = \frac{2 \cdot 12,5}{1,25 \cdot (11 - 1)} = 2 \text{ МПа},$$

Таблица 1

Применение различных материалов труб в газовом оборудовании

Материал	Год начала использования	Давление, МПа			
		0,01	0,4	1	1,6
Чугун	1880	+	—	—	—
Сталь	1930	+	+	+	+
ПВХ	1955	+	—	—	—
ПЭ 80	1975	+	+	+	—
ПЭ 100	1995	+	+	+	—
ПЭ-С	2000	+	+	—	—
Полиамид	2005	+	+	+	+
Многослойный	2005	+	+	+	—
РТП	2005	+	+	+	+

Примечание: ПВХ — поливинилхлорид; ПЭ-С — сжатый полиэтилен; РТП — армированные термопластичные трубы; + — подходящий; — — неподходящий.

а при использовании толстостенной трубы (SDR = 7,4) значение рабочего давления может достигать 3,1 МПа, однако такие трубы довольно массивны.

Бесспорно, полимерные трубы имеют ряд преимуществ перед стальными. Во-первых, они дешевле, легче, удобнее при монтаже, во-вторых, они коррозионно-стойкие и препятствуют воздействию различных кислот, солей и щелочей и при этом являются гидрофобными.

Таким образом, применение труб из полимерных материалов перспективно не только при строительстве водопроводов, газопроводов и канализаций, но также для эксплуатации в такой узкой области, как шахтный водоотлив.

При транспортировке минерализованной шахтной воды, которая содержит глинозем, оксид железа и различные органические вещества, коррозионная стойкость материала является одним из определяющих факторов в его выборе. Обычные стальные трубы в шахтных условиях очень быстро изнашиваются и нуждаются в замене. В процессе использования стальных труб гидравлические сопротивления возрастают. В результате снижается энергетическая и, как следствие, экономическая эффективность производства.

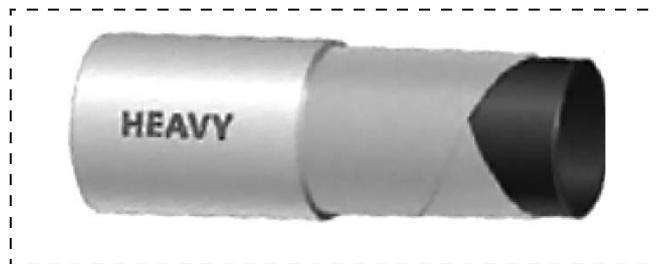
Нормативная эквивалентная шероховатость полимерных труб $\xi_3 = 0,01$ мм [2], для новой стальной трубы $\xi_3 = 0,1$ мм, для неновой $\xi_3 = 0,8$ мм.

Таким образом, диапазон гидравлически гладких труб, рассчитываемый по формуле $Re < 27(D/\xi)^{1,14}$, для полимерных труб значительно больше. Сравнивая полимерные и стальные трубы, очевидно, что при одинаковых расходах можно использовать полимерные трубы меньшего диаметра (табл. 2) [3].

Таблица 2

Применение стальных и ПЭ труб при одинаковых расходах

Труба	Расход, м ³ /ч	Скорость потока, м/с	Потери напора, м/100 м
Сталь новая 133 × 5	60	1,4	3,6
Сталь старая 133 × 5	60	1,4	6,84
ПЭ 100 110 × 6,6 (SDR 17)	60	2,26	4,1
ПЭ 80 110 × 8,1 (SDR 13,6)	60	2,41	4,8
Сталь новая 245 × 6	400	2,6	4,3
Сталь старая 245 × 6	400	2,6	7,0
ПЭ 100 225 × 13,4 (SDR 17)	400	3,6	4,0
ПЭ 80 225 × 16,6 (SDR 13,6)	400	3,85	4,8



Труба RTP

Несмотря на перечисленные преимущества полимерных труб, существуют некоторые сложности при их использовании в шахтных условиях.

Одной из главных проблем является ограничение по рабочему давлению. Шахтные трубопроводы условно подразделяют по давлению, МПа: 10...16; 6,4...10; 2,5...6,4; 2,5...1 и до 1 [4]. Самые современные полиэтиленовые трубы ПЭ 100 или даже ПЭ 125 смогут покрыть только два последних интервала.

В остальных случаях возможно использование армированных термопластичных труб RTP. Трубы RTP состоят из трех слоев (см. рисунок): внутренний — ПЭ 100, затем обмотка армированной лентой и внешний — ПЭ 80.

Армированные термопластичные трубы способны выдерживать рабочее давление до 15 МПа [5]. Соединение таких труб осуществляется на основе электрофузионной сварки. Концы труб сначала соединяются специальной сварочной муфтой, а затем — с армированной электромуфтой закладным нагревательным элементом. В результате получается равнопрочное с телом трубы неразъемное соединение. Таким образом решается актуальная проблема соединения многослойных труб без потери прочностных характеристик материала. За счет внутреннего полиэтиленового покрытия трубы RTP устойчивы к коррозионному воздействию минерализованных шахтных вод. Данный вид труб можно применять для шахтных водоотливных трубопроводов всего вышеуказанного ряда давлений.

Еще одной сложностью при использовании полимерных труб в шахтных водоотливных системах является возникающее при их эксплуатации статическое электричество. Оно может представлять серьезную пожарную опасность, поскольку возникающие искровые разряды могут превышать минимальную энергию, необходимую для зажигания горючих сред. Статическое электричество также является фактором вредного воздействия на обслуживающий персонал.

Существуют различные методы защиты полимерных трубопроводов от зарядов статического электричества [6]:

уменьшение процесса образования электростатических зарядов (ограничение скоростей транспортировки воды, обработка и подбор контактных пар);

исключение опасных разрядов статического электричества (заземление проводящих объектов и изменение распределенной емкости наэлектризованных диэлектриков);

обеспечение отвода возникающих электростатических зарядов путем увеличения проводимости самих материалов (антистатическая обработка, использование антистатических веществ, увеличение влажности воздуха) и окружающей среды (применение нейтрализаторов статического электричества).

Возможным препятствием использования полимерных труб в шахтных условиях может быть выделение вредных газов при горении и плавлении этого материала. Существующие защитные средства не полностью предохраняют шахтеров от отравления.

Эту проблему можно решить только снизив горючесть полимерного материала. Наиболее распространенный способ снижения горючести полимерного материала — введение в полимер инертных наполнителей. Возможно введение антипиреновых добавок в полимерные композиции в виде микрокапсул. Основной эффект микрокапсулирования состоит в улучшении совмести-

мости антипирена с полимером, затруднении его "выпотевания" — выделения из полимера при длительной эксплуатации и повышении физико-механических свойств материала. Также возможно придание огнестойкости полимерным композициям путем армирования их антипиреновыми материалами (фосфорсодержащими химическими волокнами). В этом случае одновременно улучшаются физико-механические свойства и снижается горючесть из-за усиления коксообразования на поверхности материала.

При решении вышеуказанных проблем применение полимерных труб повысит энергоэффективность шахтного водоотлива, снизит металлоемкость системы шахтного водоотлива, значительно увеличит срок безопасной эксплуатации.

Список литературы

1. **ГОСТ 18599—2001.** Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия.
2. **СП 40-102—2000.** Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов.
3. **Швабауэр В., Гвоздев И., Горюловский М.** Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс // Полимерные трубы. № 1. 2005. С. 15—16.
4. **Попов В. М.** Водоотливные установки: справочное пособие. М.: Недра, 1990. 254 с.
5. **www.soluforce.com.**
6. **Отставнов А. А.** Особенности борьбы со статическим электричеством, возникающим на полимерных трубопроводах // С.О.К. № 1. 2007. С. 23—27.

Уважаемые читатели и авторы журнала!

Сердечно поздравляем вас с профессиональным праздником — **ДНЕМ ШАХТЕРА**. Это праздник всех, кто связан с угольной и другими отраслями горно-добывающей промышленности — тех, кто трудится на самих горных предприятиях, машиностроителей, транспортников, сотрудников служб, обеспечивающих безопасность шахтерского труда, ученых и специалистов, труд которых также способствует развитию отрасли.

От всей души желаем вам крепкого здоровья, благополучия и дальнейших успехов в вашем не легком, но так необходимом стране труде.

Редакционный совет, редакционная коллегия и редакция журнала.

УДК 622.236.52

В. Г. Мерзляков, д-р техн. наук, проф., МГОУ,
В. Е. Бафталовский, ННЦ ГП-ИГД им. А. А. Скочинского,
Б. А. Черных, асп., ДПО "ИПК"

E-mail: msou@rinet.ru, igd@igds.ru, ipk-uch@mail.ru

Результаты экспериментальных исследований влияния полимерных добавок в рабочую жидкость на эффективность резания горных пород струями воды высокого давления^{НГ}

Представлены основные преимущества использования малых полимерных добавок в рабочую жидкость в целях повышения эффективности резания горных пород струями воды высокого давления. При проведении исследований использовалось давление воды до 50 МПа и сопла диаметром 1,0...1,9 мм. Приведены количественные оценки влияния применения малых полимерных добавок на эффективность гидравлических и технологических характеристик водяных струй высокого давления при разрушения горных пород по щелевой схеме.

Ключевые слова: струя воды высокого давления, раствор полиакриламида, малые полимерные добавки, гидравлическое разрушение, горная порода, щелевая схема разрушения, эффективность гидравлического резания горных пород.

V. G. Merzlyakov, V. E. Baftalovsky, B. A. Chernykh

The Experimental Research Results of the Polyacrylamide Additives Influence on Rock Cutting Efficiency of the High Pressure Water Jets

The presents the main advantages to use the small polymer additives to the working fluid, so that to increase the cutting efficiency of high pressure water jets. The water jets of pressure up to 50 MPa and nozzles of diameter 1,0...1,9 mm for a hydraulic rocks destruction were used. Qualitative and quantitative characteristics on the efficiency of small polymer additives in water jets on hydraulic and technological characteristics of high pressure water jets for slotted scheme of rock cutting are given.

Keywords: high-pressure water jet, solution of polyacrylamide, small additives of polyacrylamide, hydraulic rock destruction, slotted scheme of rock cutting, hydraulic rock cutting efficiency.

В настоящее время возможности совершенствования струеформирующих устройств в целях повышения компактности водяных струй практически исчерпаны. Дальнейшее увеличение разрушающей способности водяных струй может быть достигнуто за счет введения в рабочую жидкость добавок вязкоупругих полимеров, например полиакриламида (ПАА) с молекулярной массой $(1...4) \cdot 10^6$.

Выполненные в ННЦ ГП-ИГД им. А. А. Скочинского исследования показали, что использование малых добавок полиакриламида в струях высокого давления позволяет на 22...25 % увеличить глубину щелей, прорезаемых в образцах углей различных марок с $f = 0,6...3,6$ [1]. Отмечается, что указанный эффект был получен за счет способности

полимерных добавок снижать уровень турбулентных возмущений в потоке жидкости и тем самым улучшать динамические характеристики струи в зоне контакта с разрушаемым материалом.

Стендовая база и методика выполнения исследований

Повышение эффективности гидравлического разрушения горных пород по щелевой схеме имеет большое значение при создании горных породоразрушающих машин нового технического уровня. С использованием опыта использования полимерных добавок при гидравлическом разрушении угля различных марок были выполнены комплексные экспериментальные исследования по ре-

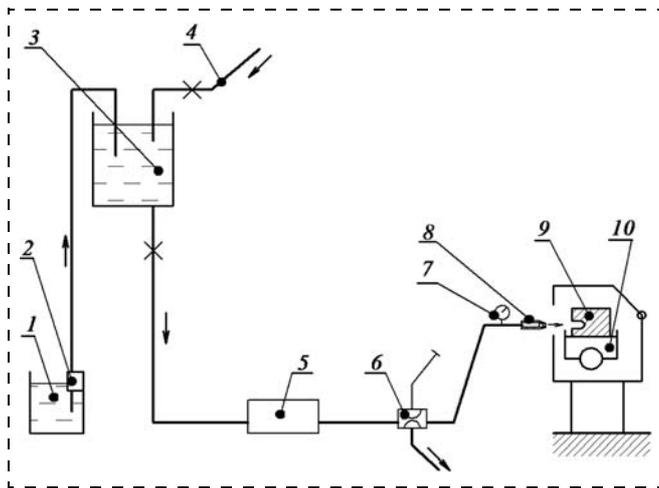


Рис. 1. Схема стенда для гидравлического разрушения горных пород: 1 — бак-смеситель исходного раствора ПАА; 2 — насос; 3 — питающая емкость; 4 — заливочный водовод; 5 — насос высокого давления; 6 — дроссель; 7 — манометр; 8 — струеформирующее устройство; 9 — образец разрушаемой горной породы; 10 — гидравлическая каретка для перемещения образцов

занию горных пород высокоскоростными струями воды и слабых растворов высокополимеров.

Схема стенда для проведения исследований представлена на рис. 1.

Для генерирования водяных струй высокого давления стенд был оснащен плунжерным насосом 35Н-14 с расходом $9 \text{ м}^3/\text{ч}$ на давление воды до $p_0 = 50 \text{ МПа}$. С учетом возможностей насосного оборудования и задач исследований в качестве разрушаемого материала был принят известняк, являющийся типичным представителем горных пород малой и средней прочности и имеющий широкое распространение на территории РФ.

Образцы известняка были взяты с Тяженского карьера. Рабочие поверхности образцов были выровнены на строгальном станке. Диапазоны изменения прочностных свойств отобранных образцов составили $\sigma_{сж} = 10,3...32,6 \text{ МПа}$ и $\sigma_p = 2,1...4,1 \text{ МПа}$, что позволило получить надеж-

ные оценки влияния физико-механических свойств горной породы на эффективность гидравлического резания с использованием малых полимерных добавок в струях воды высокого давления.

Из теории и практики гидравлического разрушения угля и горных пород известно, что в наиболее общем виде зависимость глубины прорезаемой щели h от основных влияющих факторов может быть описана уравнением

$$h_{щ} = f(p_0; d_0; l; v_{п}; \sigma_{сж}; N), \quad (1)$$

где p_0 — давление жидкости перед насадкой, МПа; d_0 — диаметр насадки, мм; l — расстояние от насадки до образца, мм; $v_{п}$ — скорость перемещения струи по образцу, м/с; f — коэффициент крепости угля по шкале проф. М. М. Протодыяконова; N — число проходов струи по щели.

Поэтому для полной и объективной оценки разрушающей способности струй полимерного раствора методика исследований была построена на получении парных корреляционных зависимостей глубины прорезаемой щели от каждого из факторов, входящих в уравнение (1). Матрица экспериментальных исследований представлена в табл. 1.

Оценка эффективности использования раствора полиакриламида оптимальной концентрации базировалась на сопоставлении глубины щели, прорезаемой в разрушаемых образцах струями чистой воды и полимерного раствора, при равных значениях факторов, влияющих на эффективность процесса разрушения. В качестве количественной оценки эффективности гидравлического резания угля и горных пород струями раствора полиакриламида был принят показатель эффективности A , %, определяемый из выражения:

$$A = \frac{h_{п} - h_{а}}{h_{в}} = \frac{\Delta h}{h_{в}}, \quad \%, \quad (2)$$

Таблица 1

Матрица экспериментальных исследований

Целевая корреляционная зависимость	Основные влияющие факторы					
	d_0 , мм	l , мм	p_0 , МПа	$v_{п}$, м/с	N	$\sigma_{сж}$, МПа
$h_{щ} = f(l_0)$	1; 1,3; 1,9	10; 40; 70; 130	45	0,1	1	12,8...326
$h_{щ} = f_1(p_0)$	1; 1,3	50	25; 35; 45; 50	0,1	1	14,6
$h_{щ} = f_2(v_{п})$	1; 1,9	10; 130	45	0,1; 0,2; 0,5; 1,0	1	1,75...1,8
$h_{щ} = f_3(N)$	1; 1,3	40	45	0,2; 0,5	1; 2; 4	13,5...17,2
$h_{щ} = f_4(d_0)$	1; 1,3; 1,9	50	45	0,1	1	10,3...32,6
$h_{щ} = f_5(\sigma_{сж})$	1,9	10; 40; 130	45	0,1	1	10,8...32,6

где h_b — глубина щели, прорезанная водой, мм; h_{Π} — глубина щели, прорезанная струей водного раствора ПАА, мм; A — показатель эффективности использования полимерного раствора, %.

Кроме этого показателя при анализе экспериментальных данных использовалась величина Δh .

Последовательность операций при выполнении исследований была следующей. В баке-смесителе l емкостью 200 л проводилось приготовление раствора ПАА предварительной концентрации C_1 . С учетом ранее выполненных исследований концентрация первичного раствора ПАА была принята $C_1 = 0,027\%$ [1]. Первичный раствор ручным насосом 2 подавался в питающую емкость 3 объемом 1 м^3 и проводилось его тщательное перемешивание. Блок известняка устанавливался на гидравлической каретке 10 и выполнялось нарезание щелей с параметрами, предусмотренными матрицей исследований (см. табл. 1).

Шаг между щелями составлял 15...20 мм, что исключало возможность ослабления материала образца при последующих резах. Значение глубины щели получалось осреднением 20...25 замеров, выполненных с шагом 10 мм по длине щели. Эксперименты дублировались на противоположных поверхностях образцов, что позволяло свести к минимуму погрешности, вносимые в результаты экспериментов вариацией прочностных свойств.

Результаты экспериментальных исследований

Первая серия опытов была выполнена в соответствии с матрицей эксперимента для получения корреляционной зависимости $h = f(l_0)$ при использовании струеформирующих насадок диаметром d_0 , равным 1,0 мм; 1,3 мм и 1,9 мм. Результаты экспериментов со струеформирующей насадкой $d_0 = 1,9$ мм представлены на рис. 2.

Оценивая результаты этой серии экспериментов по показателю A , можно сделать вывод, что на всех изученных расстояниях $l_0 = 10...130$ мм значение показателя эффективности A колебалось не очень существенно, что подтверждается изменением коэффициентов корреляции линейных зависимостей на рис. 2 и 3 в пределах $R = 0,76...0,96$.

Общее среднее значение показателя эффективности для всех проведенных экспериментов без учета крайних значений составило $\bar{A} = 24\%$.

При этом средние значения показателя эффективности A разрушения известняка при использовании насадок диаметрами d_0 , равными 1,0 мм; 1,3 мм и 1,9 мм составили 33,0; 22,3 и 21,5 %.

Физическая сущность полученного эффекта объясняется существенным увеличением длины начального участка струи воды с добавкой ПАА по сравнению со струями обычной воды при прочих равных условиях. Так в работе [2] длину начального участка предлагается определять из соотношения:

$$(l_{\text{н}})_{\Pi} = 1,5(l_{\text{н}})_{\text{в}}, \quad (3)$$

где $(l_{\text{н}})_{\Pi}$ — длина начального участка водяной струи с добавкой полимера; $(l_{\text{н}})_{\text{в}}$ — длина начального участка обычной водяной струи.

Сопоставляя значения $\Delta = \left(\frac{l_{\text{ш}}}{l_{\text{н}}}\right)_{\text{в}} - \left(\frac{l_{\text{ш}}}{l_{\text{н}}}\right)_{\Pi}$ для

всех $l = \text{const}$, нетрудно заметить, что с уменьшением диаметра насадки устойчиво возрастают значения Δ , а следовательно увеличивается разница между значениями осевых динамических давлений водяной струи и струи с добавкой ПАА в области их контакта с разрушаемым массивом [3].

Выполненные с использованием зависимости (2) расчеты показывают, что при прочих равных условиях показатель эффективности разрушения горных пород струями воды с добавкой ПАА имеет тенденцию к возрастанию при уменьшении диаметра насадки.

Эксперименты по исследованию влияния давления перед насадкой на эффективность использования струй с добавками ПАА для разрушения горных пород по щелевой схеме были проведены с насадками $d_0 = 1,0$ мм и $d_0 = 1,3$ мм на блоке известняка с $\sigma_{\text{сж}} = 14,6$ МПа. Объем эксперимента составил 32 щели с исходными параметрами,



Рис. 2. Зависимость глубины разрушения известняка струями воды и раствором ПАА от расстояния между образцом и насадкой: $d_0 = 1,9$ мм; $p_0 = 45$ МПа; $v_{\text{п}} = 0,1$ м/с; $\bar{\sigma}_{\text{сж}} = 23,6$ МПа

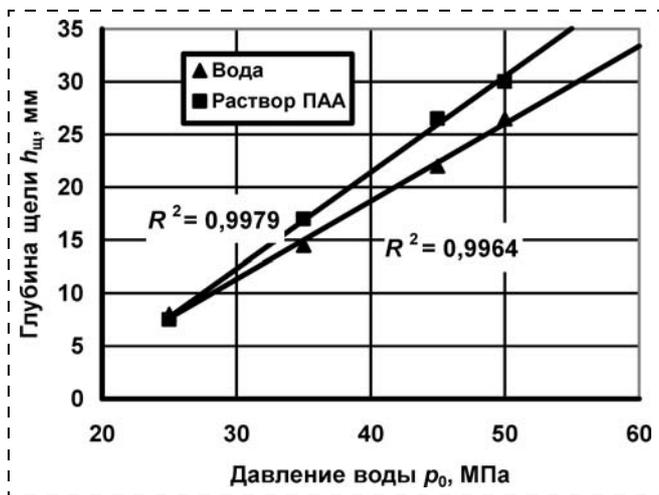


Рис. 3. Зависимость глубины щели от давления воды перед насадкой: $d_0 = 1,3$ мм; $\sigma_{сж} = 14,6$ МПа

Таблица 2

Влияние исходного давления водяных струй с добавками ПАА на эффективность резания известняка

Давление жидкости p_0 , МПа	25	35	45	50
Показатель эффективности A , %	0	14	19	20,5
$\Delta h_{щ}$, мм	-0,5	2	4	5

представленными в табл. 1, для получения корреляционной зависимости $h = f_1(p_0)$. Результаты экспериментов с использованием струеформирующей насадки диаметром $d_0 = 1,3$ мм представлены в виде графиков на рис. 3.

Из визуального анализа прорезанных щелей и численных результатов замеров их глубины, представленных на рис. 3, установлено, что при давлении 25 МПа все прорезанные щели имели неровный прерывистый профиль. Использование полимерных добавок при этом давлении не способствовало увеличению глубины щели. Таким образом, нет основания считать, что критическое давление струи при гидравлическом разрушении известняка может быть снижено за счет использования добавок ПАА.

Результаты совместного анализа показателей эффективности использования полимерных добавок при резании известняка с использованием струеформирующих насадок с $d_0 = 1$ мм и $d_0 = 1,3$ мм представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что увеличение давления рабочей жидкости перед насадкой способствует увеличению показателя эффективности использования раствора полиакриламида при гидравлическом резании горных пород. Физический смысл этого эффекта можно объяснить тем, что с увеличением исходного давления воды увеличивается интенсивность проявления турбулентных возму-

щений в водяной струе, приводящих к увеличению ее диаметра и снижению динамических давлений в сечении струи. При этом возрастает роль полимерных добавок как эффективного средства гашения поперечных пульсаций и вихрей за счет создания в теле водяной струи достаточно протяженных полимерных структур.

Практический интерес представляет также сделанный на основании анализа экспериментальных данных (см. рис. 3) вывод, что для достижения заданной глубины щели $h_{щ}$ давление рабочей жидкости с использованием добавок полиакриламида может быть снижено на 4...8 МПа по сравнению с необходимым давлением обычной водяной струи.

Скорость перемещения струи относительно поверхности разрушаемого материала $v_{п}$ является одним из важнейших технологических параметров при гидравлическом разрушении угля и горных пород.

Эксперименты по установлению влияния скорости перемещения струи на показатель эффективности использования водного раствора ПАА в качестве рабочей жидкости были проведены на двух блоках известняка с $\sigma_{сж} = 18$ МПа и $\sigma_{сж} = 17,5$ МПа. При эксперименте выполнялось 30 щелей, нарезанных с использованием струеформирующих насадок с $d_0 = 1$ мм и $d_0 = 1,9$ мм при скоростях перемещения струи $v_{п} = 0,2...1$ м/с.

Результаты экспериментов с использованием струеформирующей насадки $d_0 = 1,0$ мм приведены на рис. 4.

Полученные данные показали, что при увеличении скорости перемещения струи величина показателя эффективности A возрастает, в то время



Рис. 4. Влияние скорости перемещения струи на глубину щели, прорезаемой в известняке:

$d_0 = 1,0$ мм; $l = 130$ мм; $p_0 = 45$ МПа; $\sigma_{сж} = 17,5...18$ МПа

как величина Δh снижается или сохраняется на постоянном уровне.

Наиболее значительное увеличение показателя A наблюдалось, как и следовало ожидать, при использовании насадки с $d_0 = 1,0$ мм (см. рис. 4) на максимальном расстоянии $l = 130$ мм. Величина A при этом 71 %.

Необходимо отметить, что значения Δh при использовании насадки с $d_0 = 1,9$ мм в среднем превосходят аналогичные значения при использовании насадки с $d_0 = 1,0$ мм, однако сопоставление величин показателя A приводит к обратному результату.

Кажущееся противоречие этих оценок устраняется, если принять во внимание, что использование полимерных добавок позволяет увеличить диаметр сечения струи до размера, при котором динамические давления $p_x > p_{кр}$ ($p_{кр}$ — критическое давление для разрушения данного материала).

В этом случае естественно, что чем больше диаметр насадки, тем больше абсолютное значение увеличения эффективного сечения струи при резании полимерным раствором. Поэтому Δh при использовании насадки с $d_0 = 1,9$ мм больше, чем Δh при использовании насадки с $d_0 = 1,0$ мм.

Одним из возможных технологических режимов работы исполнительных органов горных машин с гидравлическими или гидромеханическими исполнительными органами, оснащенными тонкими струями воды высокого давления, является режим с многократным повторением проходов струи по щели в целях достижения определенной глубины щели в соответствующей принятой схеме разрушения забоя.

Исследования эффективности использования водного раствора полиакриламида при многократных проходах струи по щели были проведены на двух блоках известняка ($\sigma_{сж} = 17,2$ МПа и $\sigma_{сж} = 13,5$ МПа). Результаты этих опытов представлены на рис. 5.

С учетом ранее полученных результатов для насадки меньшего диаметра была принята большая скорость перемещения струи. Объем исследований составил 24 щели, прорезанные в известняке струями чистой воды и струями полимерного раствора.

Анализ результатов этих исследований показал, что тенденция увеличения показателя A сохраняется до $N = 2$. При увеличении числа проходов струи по щели до $N = 4$ значение показателя эффективности во всех без исключения опытах уменьшилось. Следует обратить внимание на то, что величина Δh сохранила тенденцию к увеличе-

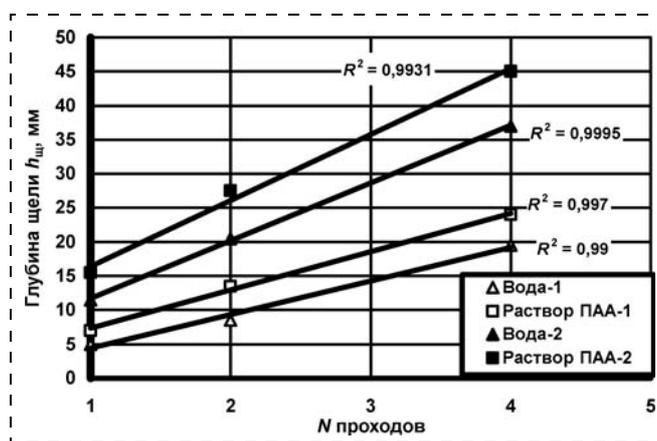


Рис. 5. Зависимость глубины резания известняка струями воды и раствором ПАА от числа проходов струи по щели:
 $l - d_0 = 1,0$ мм; $v_{п} = 0,5$ м/с; $\sigma_{сж} = 17,2$ МПа; 2 — $d_0 = 1,3$ мм; $v_{п} = 0,2$ м/с; $\sigma_{сж} = 13,5$ МПа; $p_0 = 45$ МПа; $l = 40$ мм

нию и при $N = 4$, что подтверждает ранее обсуждавшиеся выводы о природе воздействия полимерных добавок на компактность водяных струй.

Кроме того, необходимо обратить внимание на то, что значения Δh , полученные при использовании насадки с $d_0 = 1,3$ мм, были значительно больше значений этого показателя при использовании насадки с $d_0 = 1,0$ мм. На наш взгляд, это объясняется не только различием диаметров струеформирующих насадок, но также разницей значений скоростей перемещения указанных струй и прочности разрушаемых блоков.

Значительный объем экспериментов, выполненных при постоянных значениях основных факторов, определяющих эффективность гидравлического разрушения горных пород по щелевой схеме (p_0 , $v_{п}$ и N), позволил сгруппировать полученные данные в целях анализа влияния прочностных свойств горной породы, в качестве которых приняты $\sigma_{сж}$ и σ_p , на эффективность резания горных пород струями полимерного раствора в зависимости от диаметра струеформирующей насадки и расстояния до разрушаемого образца. С этой целью были использованы результаты 80 опытов при изменении $\sigma_{сж}$ в пределах 12,8...32,6 МПа. Анализ статистических характеристик — частоты значений A в интервале $h n_i$ и относительной частоты W_i , оценивающих представительность различных значений $\sigma_{сж}$ и σ_p при анализе влияния этих показателей на эффективность разрушения известняка струями воды с малыми добавками ПАА, показал, что значения σ_p оставались в пределах $2,7 \pm 0,2$ МПа для всей совокупности рассмотренных экспериментальных данных. Представительность интервалов изменения $\sigma_{сж}$ известняка была зна-

чительно выше, что позволяет использовать этот показатель прочности горных пород как фактор, влияющий на эффективность резания горных пород струями воды с добавками полиакриламида.

В качестве примера на рис. 6 представлены графики зависимости глубины разрушения известняка струями воды и полимерного раствора от $\sigma_{сж}$, полученные при использовании насадки с $d_0 = 1,9$ мм для расстояний до разрушаемого образца $l_0 = 130$ мм.

Аналогичные данные были проанализированы для расстояний от насадки $l = 10$ мм и $l = 40$ мм.

Установлено, что, несмотря на значительный разброс экспериментальных данных ($R = 0,58...0,83$), для всех расстояний прослеживается четкая линейная зависимость глубины разрушения от $\sigma_{сж}$ известняка.

В целях оценки наиболее стабильного значения показателя эффективности резания известняка струями полимерного раствора с учетом всего разнообразия исходных гидравлических и техноло-

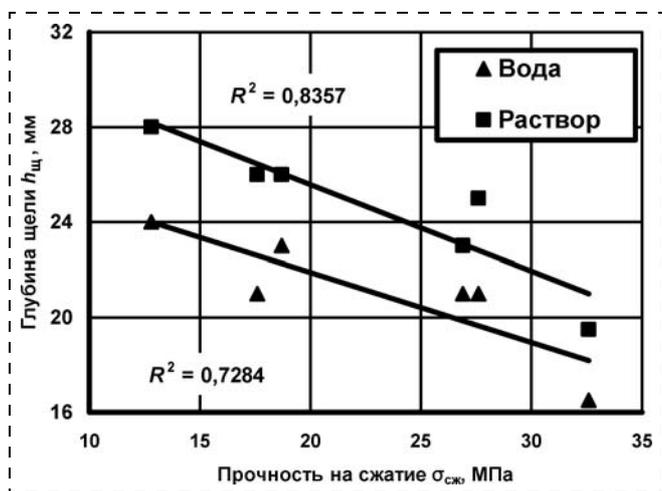


Рис. 6. Зависимость глубины резания известняка струями воды и раствором ПАА от прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$: $d_0 = 1,9$ мм; $p_0 = 45$ МПа; $l = 130$ мм;

Таблица 3

Частотный анализ результатов исследований

Интервалы изменения A , %	A , %	n_i	W_i	$\frac{W_i}{h} \times 10^2$
0...12	5; 11; 6; 10; 4; 9; 0; 0; 11	9	0,17	1,4
12...24	14; 15; 24; 17; 17; 18; 18; 17; 16; 18; 17; 22; 17; 13; 17; 20; 23; 21	19	0,35	2,9
24...36	31; 32; 31; 36; 28; 25; 28; 26; 33; 28; 28; 26; 34; 31; 35; 34; 28	17	0,31	2,6
36...48	37; 37; 40; 45	4	0,08	0,67
> 48	58; 52; 59; 53; 71	5	0,09	0,75
		$\Sigma n_i = 54$		

гических параметров, предусмотренных матрицей эксперимента, был выполнен статистический частотный анализ показателей эффективности A с шагом $h = 12$, результаты которого представлены в табл. 3.

В табл. 3 n_i — частота значений A в интервале h ;

W_i — относительная частота; $\frac{W_i}{h} \times 10^2$ — плотность частоты показателя эффективности A .

Отбрасывая малопредставительные значения $A \geq 36$, можно сделать вывод, что для всего объема проанализированных экспериментальных данных среднее значение показателя эффективности разрушения известняка струями воды высокого давления с малыми добавками ПАА составило $A = 27,7$ %.

Выводы

1. Эффективность применения малых полимерных добавок в струях воды высокого давления при разрушении горных пород может быть объяснена улучшением их динамических и структурных характеристик, влияющих на интенсивность резания горных пород по щелевой схеме.

2. Возможность увеличения скорости перемещения водяных струй с малыми добавками полиакриламида при нарезании зарубной щели заданной глубины позволяет достигнуть увеличения ее боковой площади, нарезаемой в единицу времени, а, следовательно, снизить энергоемкость гидравлического разрушения горных пород по щелевой схеме.

3. Для достижения заданной глубины щели при гидравлическом разрушении горных пород исходное давление рабочей жидкости с использованием добавок полиакриламида должно быть снижено на 4...8 МПа по сравнению с исходным давлением водяной струи.

Список литературы

1. Бафгаловский В. Е. Эффективность разрушения угля высокоскоростными струями слабых растворов высокополимеров // Разрушение углей и горных пород: Науч. сообщ. / Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского. М., 1995. Вып. 301. С. 102—111.
2. Никонов Г. П., Шавловский С. С. Гидродинамические исследования струй с полимерными добавками // Науч. сообщ. / Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского. М., 1975. Вып. 126.
3. Мерзляков В. Г., Бафгаловский В. Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. М.: ФГУП ННЦ ГП—ИГД им. А. А. Скочинского, 2004. 645 с.

В. Г. Зедгенизов, д-р техн. наук, зав. кафедрой,
Аль-Саккаф Халед Саед Таха, асп.,
 НИ ИрГТУ, г. Иркутск
 E-mail: vigez@istu.edu

Некоторые закономерности разрушения горных пород при ударном взаимодействии клиновидного инструмента с негабаритом

Представлена математическая модель процесса ударного взаимодействия клиновидного инструмента с негабаритом. Установлено влияние энергии единичного удара, прочности материала, размеров негабарита, формы инструмента, а также точки нанесения удара на напряжения, возникающие под инструментом. Показано, что в зависимости от указанных факторов возможны три вида разрушения: раскол, скол и выкол.

Ключевые слова: клиновидный инструмент, негабарит, математическая модель процесса разрушения.

V. G. Zedgenizov, Al-Sakkaf Khaled Saed Taha

Some Regularities of Destruction of Rocks at Shock Interaction of the Wedge-Shaped Tool with not Dimension

A mathematical model for the evaluation of the impact on oversized rocks with wedge shaped tool. It shows the effect of the energy from single strike, the strength of the material, rocks size and points of impact on the stresses arising under the instrument. It shows that depending on these factors, there are three types of fracture: splitting, cleaving and chipping.

Keywords: wedge-shaped tool, oversized rocks, the mathematical model for the process of destruction.

Опыт разработки скальных горных пород показывает, что даже при применении прогрессивных способов ведения буровзрывных работ не удастся полностью исключить выход негабаритов. Процент выхода негабаритов от взорванной массы в зависимости от горно-геологических условий может изменяться от 2...3 до 15...20 %, при добыче штучного камня выход негабаритных кусков может быть еще больше [1].

Наиболее эффективное разрушение негабаритов происходит при механическом ударе, когда накопленная энергия ударника через рабочий инструмент передается негабариту контактным способом. Выполненные в этой области исследования касаются частных вопросов, а в целом механизм разрушения негабарита остается до конца не выясненным.

На первом этапе разрушения зона контакта рабочего инструмента с породой минимальна, в материале возникают напряжения, превосходящие его контактную прочность, и наблюдается локальное разрушение породы. По мере продвиже-

ния инструмента вглубь массива локальные разрушения усиливаются, разрушенная структура образует вокруг инструмента ядро уплотнения, повторяющее форму его наконечника, и дальнейшая деформация материала происходит уплотненным ядром [2].

На рис. 1 представлена расчетная схема ударного взаимодействия клиновидного инструмента с негабаритом. Составляющие ударного усилия W создают нормальные напряжения в плоскости $1-1$, в которой может произойти раскол. В свою очередь, составляющие ударного усилия W можно разложить на W_1 и W_2 , а также на W_3 и W_4 . Направление действия составляющих W_1 и W_4 уходит вглубь негабарита, и последние не представляют интереса. Составляющая W_2 выходит на боковую грань негабарита, под ее воздействием появляются касательные напряжения в плоскости $1-2$, по которой, вероятнее всего, произойдет скол. Составляющая W_3 выходит на дневную поверхность, под ее воздействием формируются ка-

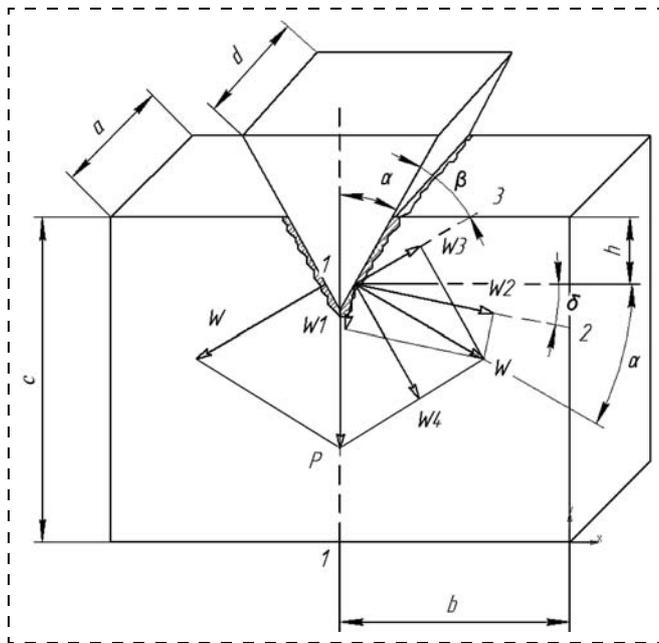


Рис. 1. Схема ударного взаимодействия клинового инструмента с негабаритом

касательные напряжения в плоскости 1—3, по которой и произойдет выкол.

В зависимости от соотношения энергии единичного удара, прочности материала, размеров негабарита, формы инструмента, а также точки нанесения удара разрушение негабарита будет происходить в одной из указанных плоскостей.

С учетом ранее выполненных исследований [3] разработана математическая модель ударного разрушения негабаритов:

$$h = \frac{Mv^2}{2P}; v = \sqrt{2gH}; P = 2W\sin\alpha; W = \sigma S;$$

$$S = \frac{2ah}{\cos\alpha}; T = \frac{Mv^2}{2}; S_1 = a(c-h); \sigma_1 = \frac{W\cos\alpha}{S_1};$$

$$\delta = 0,5\alpha; W_2 = W\cos(\alpha - \delta); S_2 = \frac{ab}{\cos\delta}; \tau_2 = \frac{W_2}{S_2};$$

$$\beta = -0,5\alpha + 0,785; W_3 = W\sin\beta;$$

$$S_3 = \frac{ah}{\cos(\alpha + \beta)}; \tau_3 = \frac{W_3}{S_3},$$

где h — глубина погружения инструмента, м; M — масса инструмента, кг; v — скорость в момент удара, м/с; P — ударное усилие, Н; g — ускорение свободного падения, м/с²; H — высота подъема инструмента, м; W — нормальная составляющая ударного усилия, Н; α — половина угла заострения инструмента, рад; σ — предел прочности материала

на сжатие, МПа; S — площадь контакта боковых граней инструмента с породой, м²; a — ширина негабарита, м; T — кинетическая энергия инструмента в момент удара, Дж; S_1 — площадь поверхности раскола, м²; c — высота негабарита, м; σ_1 — нормальные напряжения в плоскости раскола, МПа; δ — угол наклона поверхности скола к горизонту, рад; W_2 — составляющая ударного усилия в плоскости скола, Н; S_2 — площадь поверхности скола, м²; τ_2 — касательные напряжения в плоскости скола, МПа; β — угол между боковой гранью инструмента и поверхностью раскола, рад; W_3 — составляющая ударного усилия в плоскости выкола, Н; S_3 — площадь поверхности выкола, м²; τ_3 — касательные напряжения в плоскости выкола, МПа.

При составлении математической модели были сделаны следующие допущения:

ширина лезвия инструмента и ширина негабарита равны;

свойства материала изотропны.

Математическая модель реализована в среде MathCAD и получены зависимости нормальных и касательных напряжений от энергии удара, прочности материала, размеров негабарита и шага отбивки.

На рис. 2 представлена зависимость нормальных и касательных напряжений от ширины негабарита.

На графике видно, что при нанесении удара по негабариту шириной 1 м напряжения в плоскостях 1—1 и 1—2 не превышают допустимых значе-

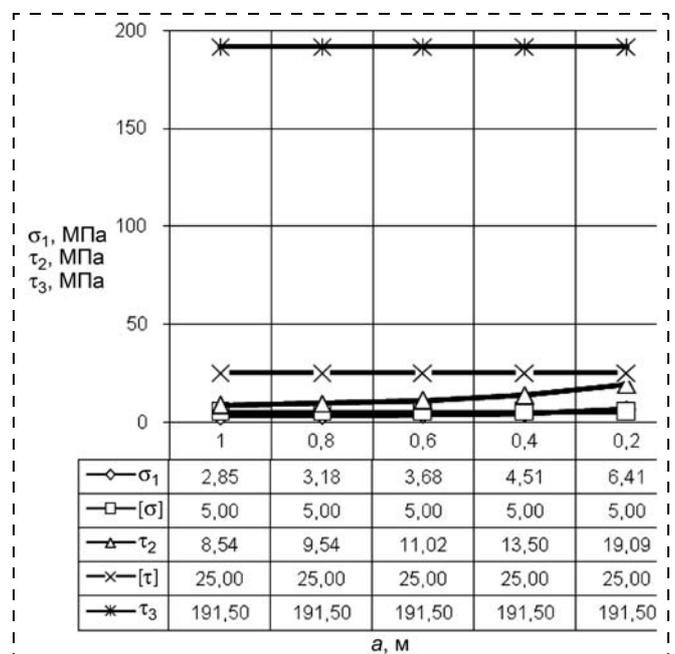


Рис. 2. Зависимость нормальных σ_1 и касательных τ_2 напряжений от ширины a негабарита:

$c = 1$ м; $b = 0,4$ м; $\sigma = 250$ МПа; $T = 32$ кДж; $[\sigma]$ и $[\tau]$ — допустимые нормальные и касательные напряжения материала

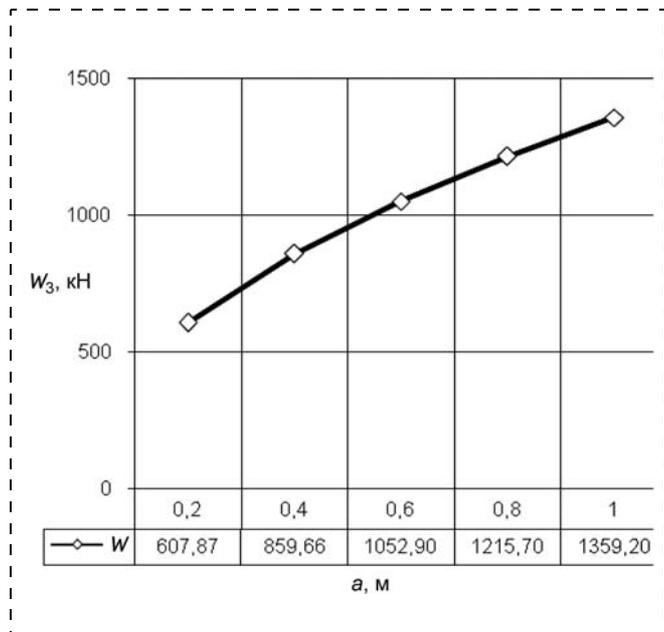


Рис. 3. Зависимость составляющей ударного усилия W_3 в плоскости выкола от ширины a негабарита:
 $c = 1 \text{ м}; b = 0,4 \text{ м}; \sigma = 250 \text{ МПа}; T = 32 \text{ кДж}$

ний. Напряжения в плоскости 1–3 выше допустимых, в результате чего происходит выкол материала под инструментом.

С уменьшением ширины негабарита напряжения в плоскостях 1–1 и 1–2 нарастают, и при $a = 0,4 \text{ м}$ нормальные напряжения в плоскости 1–1 становятся равными допустимым. Происходит раскол негабарита на две части в плоскости 1–1.

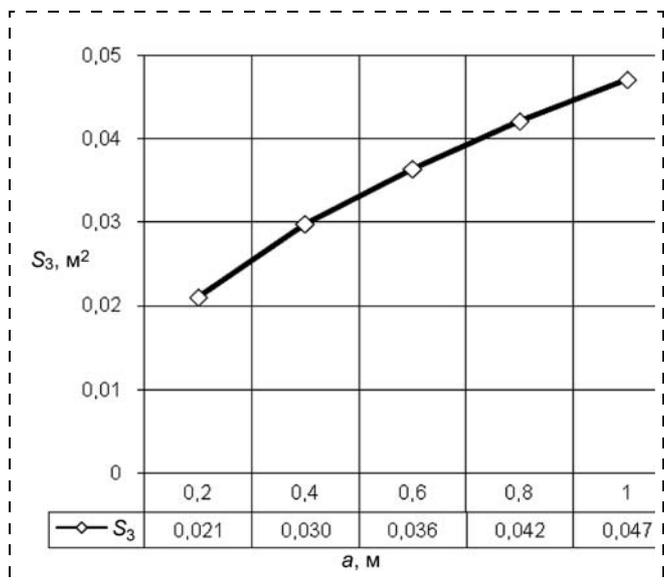


Рис. 4. Зависимость площади поверхности выкола S_3 от ширины a негабарита:
 $c = 1 \text{ м}; b = 0,4 \text{ м}; \sigma = 250 \text{ МПа}; T = 32 \text{ кДж}$

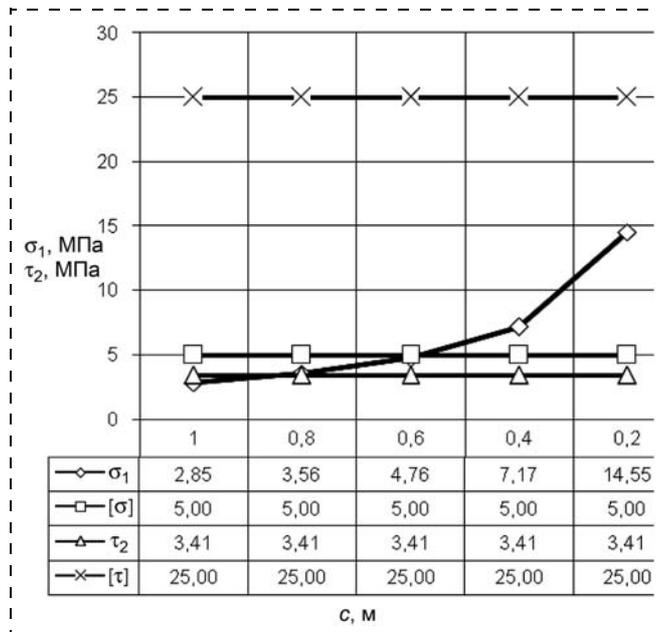


Рис. 5. Зависимость нормальных σ_1 и касательных τ_2 напряжений от высоты c негабарита:
 $a = 1 \text{ м}; b = 1 \text{ м}; \sigma = 250 \text{ МПа}; T = 32 \text{ кДж}; [\sigma]$ и $[\tau]$ — допустимые нормальные и касательные напряжения материала

Из изложенного следует, что ширина негабарита влияет на величину напряжений в плоскостях 1–1 и 1–2, но на напряжения в плоскости 1–3 влияния не оказывает. Это объясняется тем, что с увеличением ширины негабарита пропорционально возрастают площадь поверхности выкола S_3 и составляющая ударного усилия в плоскости выкола W_3 (рис. 3 и 4).

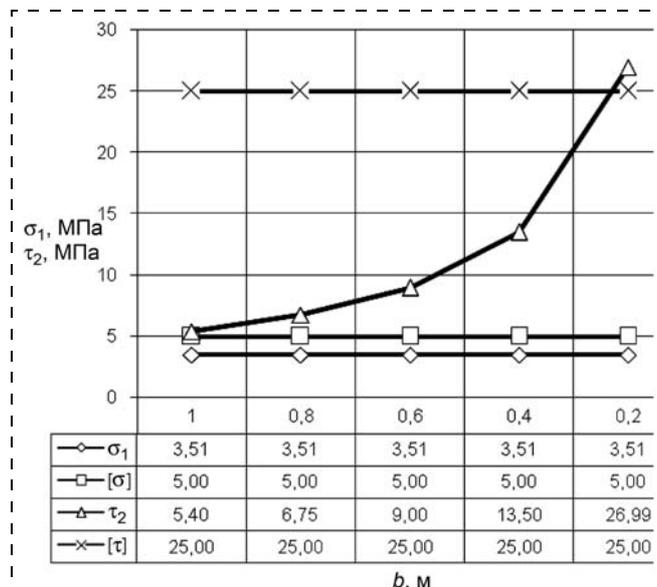


Рис. 6. Зависимость нормальных σ_1 и касательных τ_2 напряжений от шага отбивки b :
 $a = 0,4 \text{ м}; c = 1 \text{ м}; \sigma = 250 \text{ МПа}; T = 32 \text{ кДж}; [\sigma]$ и $[\tau]$ — допустимые нормальные и касательные напряжения материала

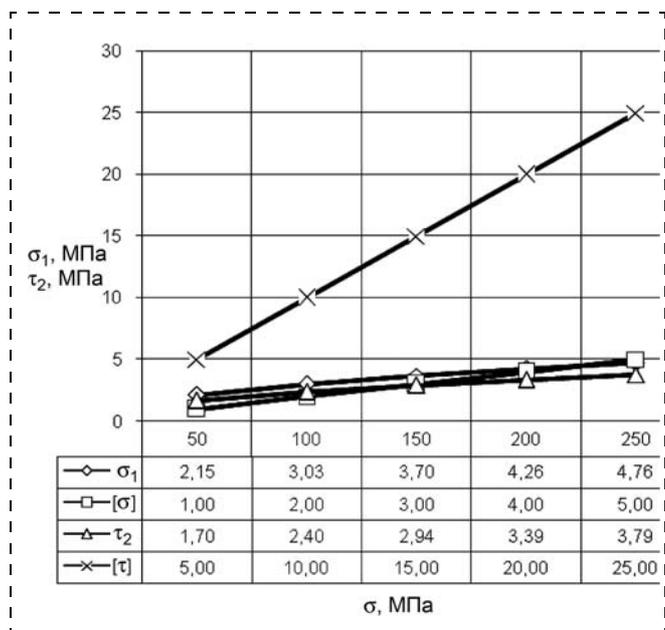


Рис. 7. Зависимость нормальных σ_1 и касательных τ_2 напряжений от прочности материала σ :
 $a = 1$ м; $c = 0,6$ м; $b = 0,9$ м; $T = 32$ кДж; $[\sigma]$ и $[\tau]$ — допускаемые нормальные и касательные напряжения материала

На рис. 5 представлена зависимость нормальных и касательных напряжений от высоты негабарита.

Высота негабарита оказывает влияние только на нормальные напряжения в плоскости $I-I$, которые с уменьшением высоты растут и при $c = 0,6$ м становятся равными допускаемым. При этом также происходит раскол негабарита в плоскости $I-I$.

На рис. 6 представлена зависимость нормальных и касательных напряжений от шага отбивки, которая дает аналогичную картину: с уменьшением шага отбивки растут касательные напряжения в плоскости $I-2$, которые при $b = 0,2$ м превышают допускаемые значения, и происходит скол материала по плоскости $I-2$. Изменение шага отбивки на величину нормальных напряжений в плоскости $I-I$ влияния не оказывает.

Прочность материала оказывает существенное влияние на напряжения в негабарите. При неизменных параметрах удара и размерах негабарита раскол в плоскости $I-I$ произойдет при $\sigma \leq 150$ МПа (рис. 7).

С увеличением энергии удара напряжения в негабарите также возрастают (рис. 8) и при $T = 24$ кДж происходит раскол по плоскости $I-I$.

Следует отметить, что во всех случаях касательные напряжения в плоскости $I-3$ превосходят допускаемые значения, и если не произошел раскол или скол негабарита, то должен появиться вы-

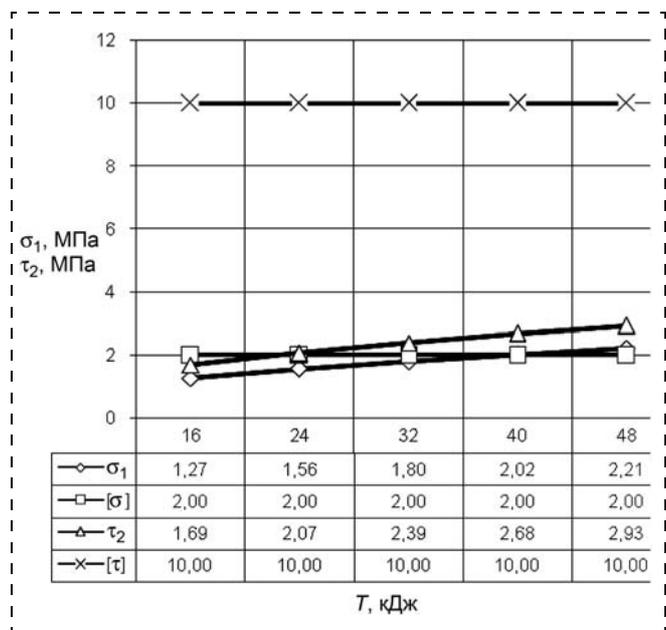


Рис. 8. Зависимость нормальных σ_1 и касательных τ_2 напряжений от энергии удара T :
 $a = 1$ м; $c = 0,6$ м; $b = 0,9$ м; $\sigma = 100$ МПа; $[\sigma]$ и $[\tau]$ — допускаемые нормальные и касательные напряжения материала

кол в плоскости $I-3$ или локальное разрушение в зоне контакта.

Выводы

1. Ширина негабарита влияет на величину напряжений в плоскостях $I-I$ и $I-2$, на напряжения в плоскости $I-3$ — влияния не оказывает.
2. Высота негабарита оказывает влияние только на нормальные напряжения в плоскости $I-I$.
3. Изменение шага отбивки влияет на величину касательных напряжений в плоскости $I-2$, на величину нормальных напряжений в плоскости $I-I$ влияния не оказывает.
4. При заданных размерах негабарита разрушение произойдет в зависимости от соотношения энергии удара и прочности материала.

Список литературы

1. Чупров И. В. Взаимосвязь удельной энергии разрушения горной породы с энергией единичного удара // Известия вузов. Горный журнал. 2006. № 5.
2. Федулов А. И., Иванов Р. А. Ударное дробление крепких материалов // Механизация строительства. 2005. № 1.
3. Зедгенизов В. Г., Аль-Саккаф Халед Саед Таха. К вопросу о взаимодействии клиновидного инструмента с массивом хрупкого материала // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2011. № 1.

С. А. Шемякин, д-р техн. наук, проф., С. И. Иванченко, д-р техн. наук, проф.,
А. Ю. Чебан, канд. техн. наук, доц., В. Е. Белов, асп.,
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
E-mail: lesch@sdm.khstu.ru

Сопротивление копанью скрепером с импульсными колебаниями ковша^{НГ}

Предложен метод определения сопротивлений копанью ковшем скрепера, совершающим периодические импульсные колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью специального механизма, расположенного со стороны задней оси машины.

Ключевые слова: скрепер, ковш, гидромеханизм импульсной подачи ковша вниз и вперед, коэффициент заполнения, сопротивление копанью.

S. A. Shemyakin, S. I. Ivanchenko, A. Yu. Cheban, V. E. Belov

Resistance to Digging Scraper with Pulsed Fluctuations of the Scoop

The offered method of the determination of the resistances to digging by scoop scraper, making periodic pulsed fluctuations in vertical and horizontal plane by means of special mechanism, located on the part of back axis of the machine.

Keywords: scraper, scoop, pulsed presenting the scoop downwards and onward, factor of the filling, resistance to digging.

Конструкция и принцип действия скрепера с интенсификатором загрузки в виде гидромеханизмов импульсных колебаний ковша, расположенных со стороны задней оси (рис. 1), излагались ранее [1, 2].

Увеличение коэффициента заполнения ковша I связной и несвязной породой на 30...35 % при наличии интенсификатора загрузки в виде гидромеханизма 2 импульсных колебаний в вертикальной плоскости можно объяснить уменьшением со-

противления продвижению срезанной породы, находящейся периодически в ковше в состоянии невесомости (в хвостовой части ковша) или частичной невесомости (в средней части ковша).

Гидромеханизм импульсной подачи ковша вперед 3 обеспечивает подбор призмы волочения перед ковшом и тем самым снижает общее сопротивление зачерпыванию породы ковшом. Гидромеханизм 3 передает усилие на ковш через двуплечий рычаг 4 и промежуточную раму 5. Гидроакку-

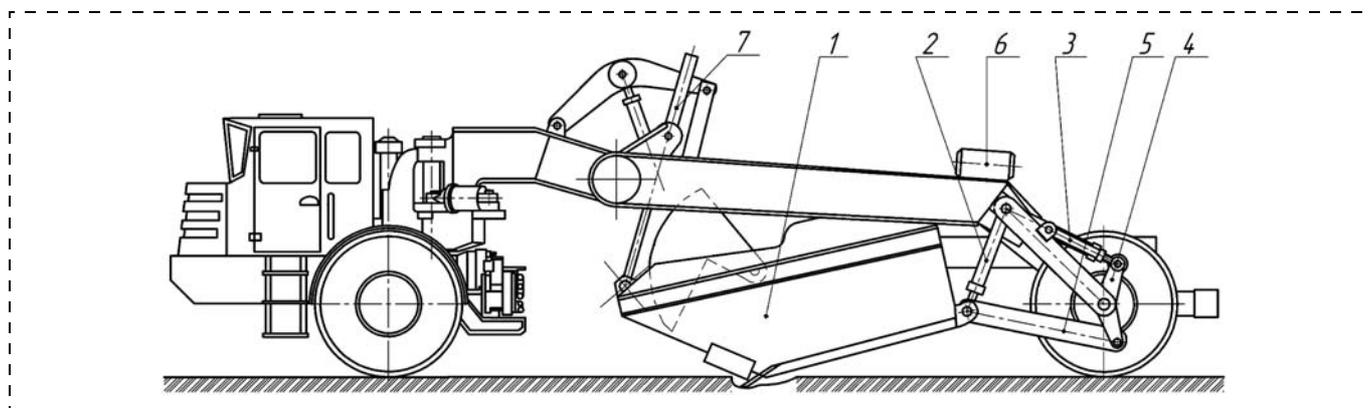


Рис. 1. Скрепер с импульсными колебаниями ковша:

1 — ковш; 2 — гидромеханизм подъема-опускания ковша; 3 — гидромеханизм импульсной подачи ковша вперед; 4 — двуплечий рычаг; 5 — промежуточная рама; 6 — гидроаккумуляторы; 7 — гидромеханизм переднего подъема-опускания ковша

муляторы b , заряжаемые при холостых пробегах машины или под уклон, позволяют устранить отвод значительной части мощности движения скрепера на привод интенсификатора загрузки и тем самым повысить эффективность работы скрепера в целом.

Представляет определенный интерес метод определения суммарного сопротивления зачерпыванию породы в конечной стадии копания при наличии предлагаемого интенсификатора в целях составления этого параметра с сопротивлениями зачерпыванию только при его отсутствии.

Известны два метода расчета сопротивлений копанию ковшем скрепера под давлением срезаемой стружки, используемые наиболее часто в практике проектирования: метод А. Н. Зеленина для несвязных пород [3] и метод Е. Р. Петерса для связных пород [4]. В соответствии с обоими методами суммарное сопротивление копанию состоит из трех слагаемых: сопротивления породы резанию, сопротивления перемещению призмы волочения и сопротивления перемещению породы внутри ковша.

Таким образом, общее сопротивление копанию в конечной стадии заполнения, соответствующей последнему импульсу колебаний ковша вниз и вперед, будет равно

$$W = W_p + W_{пр} + W_{вн},$$

где W_p — сопротивление породы резанию; $W_{пр}$ — сопротивление перемещению призмы волочения перед ковшом; $W_{вн}$ — сопротивления, связанные с перемещением породы внутри ковша.

Сопротивление резанию

$$W_p = KhB_k,$$

где K — коэффициент удельного сопротивления резанию (для несвязных пород $K = 5...7 \text{ Н/см}^2$, для связных пород $K = 8...10 \text{ Н/см}^2$); h — толщина срезаемой стружки; B_k — ширина ковша (длина ножей).

Сопротивление перемещению призмы волочения

$$W_{пр} = \frac{H_k^2 B_k \gamma_{п}}{2 \text{tg} \varphi},$$

где H_k — высота заполнения ковша породой; $\gamma_{п}$ — приведенная объемная сила тяжести породы, Н/м^3 ; φ — угол естественного откоса породы.

Рассмотрим, как видоизменялись эти составляющие сопротивления копанию при работе интенсификатора импульсных колебаний ковша.

С этой целью проведены экспериментальные исследования по копанию связных и несвязных пород в грунтовом канале на моделях скреперных ковшей с коэффициентом линейного подобия 1:8 по отношению к двадцатипятикубовому скреперу ДЗ-107. При этом длина ковша $L_k = 0,4 \text{ м}$, ширина ковша $B_k = 0,4 \text{ м}$, а высота боковой стенки ковша $H_k = 0,3 \text{ м}$. Эксперименты проводились с интенсификатором загрузки и без интенсификатора. Опыты показали, что при наличии 6...10 импульсов вперед ковши заполняются полностью, а призма волочения перед заслонкой образуется в 2 раза меньшем объеме, чем при заполнении ковша только под давлением стружки.

Сопротивление резанию изменяет свое значение по сравнению с этой составляющей при заполнении ковша без импульсных колебаний. Это обстоятельство объясняется тем, что при опускании задней части ковша к поверхности породы угол резания ножей уменьшается. Уменьшение угла наклона днища и угла резания приводит к уменьшению сопротивления резанию и компенсирует увеличение сопротивления резанию за счет динамической составляющей при импульсе ковша вперед.

Сопротивления перемещению породы внутри ковша, согласно данным экспериментов с датчиками давления, существенно уменьшаются, поскольку удельные давления на боковые стенки и днище распределяются неравномерно по длине ковша. В задней части ковша давление отсутствует,

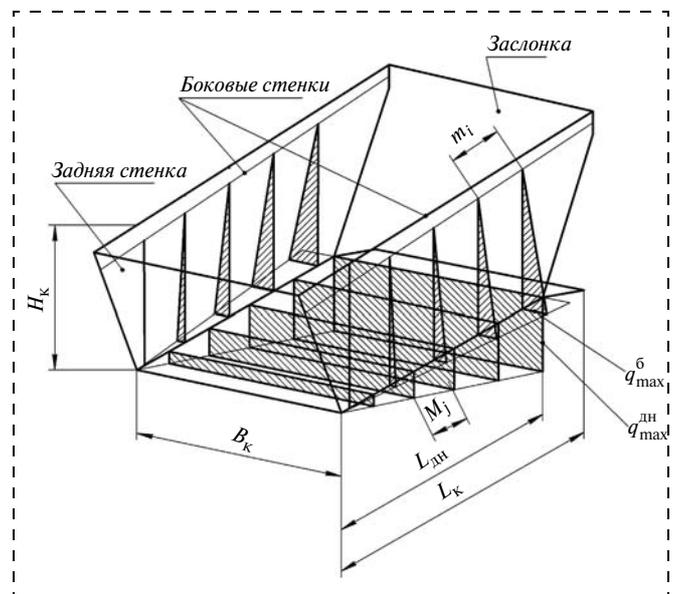


Рис. 2. Распределение активных удельных давлений на боковые стенки $q_{max}^б$ и днище $q_{max}^{дн}$ ковша во время импульсного движения ковша вниз и вперед в конечной стадии копания

а в передней части оно такое, какое при копании без интенсификатора (рис. 2).

При опускании ковша в нижнее положение угол резания уменьшается на 20° , в связи с этим сопротивление резанию уменьшается в 1,4 раза [3].

В результате составляющая сопротивления резанию

$$W_p \approx 0,7KB_k h.$$

Сопротивление перемещению призмы волочения уменьшается, так как объем при наличии интенсификатора меньше в 2 раза. Поэтому

$$W_{пр} = \frac{0,5 H_k^2 B_k \gamma_{п}}{2 \operatorname{tg} \varphi}.$$

Сопротивление перемещению породы внутри ковша

$$W_{вн} = \left[2 \left(\iint_q f(H_k, L_k) dq + \iint_q f(L_{дн}, B_k) dq \right) \right] \mu_1$$

или при приближенном интегрировании

$$W_{вн} = \left[2 \left(\sum_{i=1}^n m_i \Delta q_i^6 \right) + B_k \sum_{j=1}^n M_j \Delta q_j^{дн} \right] \mu_1,$$

где μ_1 — коэффициент трения породы о сталь; $m_i \Delta q_i^6$ и $M_j \Delta q_j^{дн}$ — соответственно объемы призм давления с основанием по боковым стенкам Δq_i^6 и днищу $\Delta q_j^{дн}$; m_i и M_j — соответственно i -е и j -е отрезки призм давления на боковые стенки и днище ковша при приближенном интегрировании активных давлений Δq_i^6 и $\Delta q_j^{дн}$.

Максимальное активное давление на боковую стенку в передней части ковша можно определить по закону Кулона, Н/м

$$q_{\max}^6 = \gamma_{п} \frac{H_k^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right),$$

где φ_2 — угол внутреннего трения породы о породу.

Максимальное активное давление на днище ковша

$$q_{\max}^{дн} = \frac{V \gamma_{п}}{L_{дн} B_k},$$

где V — вместимость ковша.

Расчет сопротивления перемещению породы внутри экспериментального ковша по приведенным зависимостям дает значение, равное 267 Н, а расчет этого сопротивления без использования интенсификатора по зависимостям Е. Р. Петерса [4] — 323 Н, что на 21 % больше. Это соотношение сопротивлений подтверждается и экспериментальными исследованиями в грунтовом канале.

В конечном итоге, при наличии интенсификатора загрузки ковша в виде импульсных колебаний, значения сопротивлений копания в конечной стадии заполнения снижаются по расчетным данным на несвязных породах на 36 %, а на связных — на 50,4 %. Расчетные и экспериментальные результаты исследований удовлетворительно совпадают, при этом ошибка составляет не более 14 %. Учитывая, что коэффициент заполнения ковшей связной и несвязной породой при наличии импульсных колебаний увеличивается на 25...30 % [1], то предлагаемое конструктивное исполнение скреперного оборудования можно считать перспективным.

Список литературы

1. Шемякин С. А., Иванченко С. Н., Чебан А. Ю., Матвеев Д. Н., Белов В. Е. Скреперы для работы по послойно-полосовым технологиям // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 4. С. 17—21.
2. Пат. № 2283923. Скрепер / С. А. Шемякин, А. В. Онищенко, Е. С. Клигунов. Оpubл. 20.09.2006. Бюл. № 26.
3. Зеленин А. Н. и др. Машины для земляных работ: учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1975.
4. Анохин А. Н., Петерс Е. Р., Эвенитов И. М., Хархута Н. Я. Дорожные машины (основы теории и расчета). М.: Дориздат, 1950.

К разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния секции става шахтного скребкового конвейера^{НГ}

Изложена методика расчета напряжений и перемещений в конструкции рештачной секции става скребкового конвейера, работающего под воздействием внешних нагрузок от шахтной крепи, очистного комбайна и транспортируемого объекта. Расчет осуществлен посредством системы автоматизированного проектирования и инженерных расчетов T-Flex. Приведены рекомендации по совершенствованию рештаков.

Ключевые слова: забой, скребковый конвейер, рештак, напряжение, деформация.

A. V. Varnava, I. A. Zhukov

To Working out of the Design Procedure of the is Intense-Deformed Condition of Construction's Section of the Mine Scraper Conveyor

In article the design procedure of tension and movings to designs of section panline the scraper conveyor working under the influence of an external loading from mine is stated fix, the clearing combine and transported object. Calculation is carried out by means of system of an automated and engineering calculations of T-Flex. Recommendations about perfecting panline are provided.

Keywords: face, the scraper conveyor, panline, pressure, deformation.

С 1935 г. при подземной отработке месторождений полезных ископаемых для доставки угля из очистных забоев используют скребковые конвейеры, в которых перемещение груза осуществляется по неподвижному желобу — рештаку с помощью скребков, закрепленных на одной или нескольких тяговых цепях. Став конвейера собирают из отдельных секций — рештаков (рис. 1, см. 3-ю стр. обложки), образованных из двух боковин специального профиля и приваренного к ним донного листа.

Анализ известных работ [1–7] по исследованию скребковых конвейеров показал, что совершенствование конструкции рештачной секции става идет преимущественно изобретательским путем, эмпирически. В связи с этим было принято решение разработать методику расчета конструкции рештачного става скребкового конвейера в условиях реальной эксплуатации посредством современных автоматизированных систем инженерного проектирования на основе метода конечных элементов (КЭ), в частности посредством САПР T-Flex, позволяющей решать задачи параметрического трехмерного моделирования и конечно-элементных расчетов сложных конструкций.

Расчетная методика создана и апробирована на конструкции рештака скребкового конвейера,

производимого ОАО "Анжерский машиностроительный завод" (г. Анжеро-Судженск Кемеровской области).

Трехмерная модель расчетной конструкции рештака (рис. 2) создана в модуле "T-Flex CAD". Каждая деталь конструкции построена в отдельном файле, а затем детали собраны в виде фрагментов в сборку. Детали сборочной модели встроены в конструкцию с учетом их расположения под

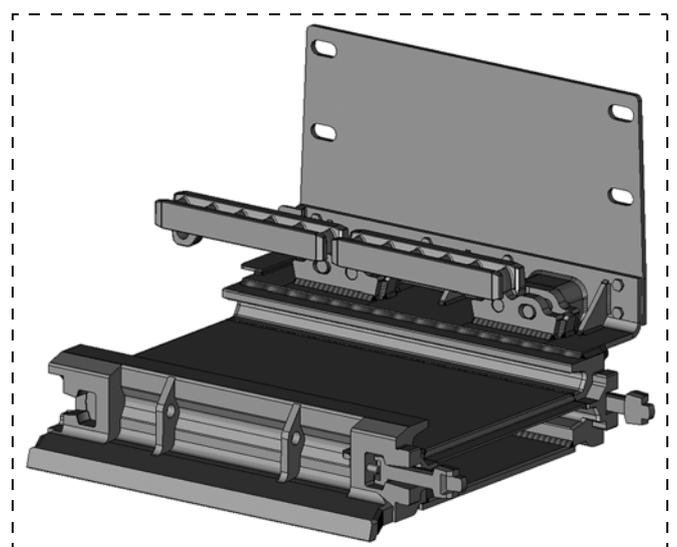


Рис. 2. 3D-модель рештака

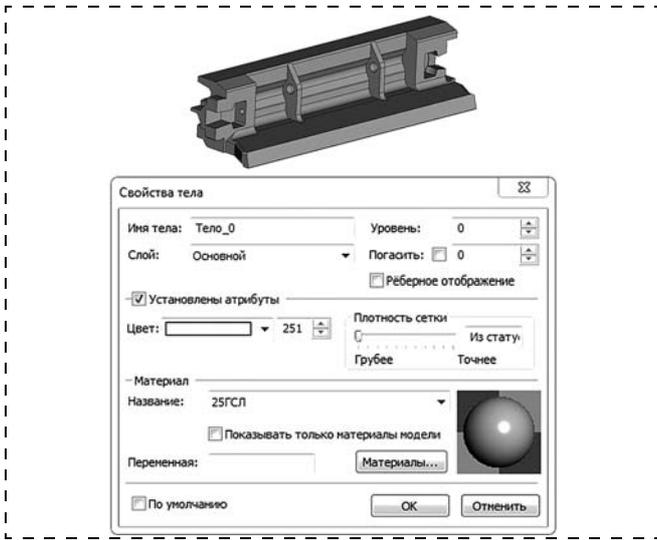


Рис. 3. Присвоение деталям конструкции свойств материалов

собственным весом, т. е. обеспечен контакт деталей по соответствующим поверхностям.

Для создания физической модели секции става конвейера всем элементам конструкции присвоены реальные физико-механические свойства в соответствии с применяемыми материалами (рис. 3).

Свойства материалов конструкции

Плотность, кг/мм ³	7,85 · 10 ⁻⁶
Предел прочности на разрыв, Н/мм ²	500
Предел прочности на сжатие, Н/мм ²	500
Предел текучести, Н/мм ²	300
Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К)	496
Материал	Изотропный
Модуль упругости, Н/мм ²	204000
Коэффициент Пуассона	0,3
Коэффициент линейного расширения, 1/К ..	0,000012
Теплопроводность, Вт/(мм · К)	0,04

Далее смоделированы сварные соединения элементов конструкции рештака. Модель сварного шва включает: тип сварного соединения, конструктивные элементы, обозначение, ГОСТ, № и катет шва, параметры усиления, механические характеристики

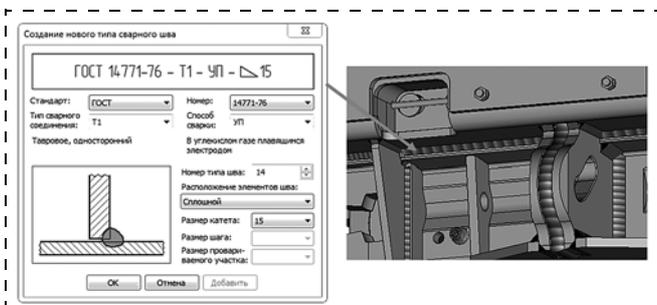


Рис. 4. Создание сварного шва

сварного материала, которые задаются во всплывающем окне (рис. 4) при создании каждого шва.

В результате создана модель решетчатой секции става, учитывающая геометрические параметры конструкции, механические свойства материалов деталей, особенности сварных соединений элементов.

При разработке любой конструкции перед проектировщиком стоит задача оценки ее напряженно-деформированного состояния (НДС). При традиционном подходе для решения такой задачи в общем случае необходимо решить уравнения, обеспечивающие выполнение условий равновесия и совместности деформаций:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + R_x = 0, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + R_y = 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + R_z = 0, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{xy}}{\partial x \partial y}, \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{yz}}{\partial y \partial z}, \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{xz}}{\partial x \partial z}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \varepsilon_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \varepsilon_{yz}}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z}, \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \varepsilon_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon_{xz}}{\partial y} \right) = \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x \partial z}, \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon_{xz}}{\partial y} - \frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y}, \end{cases}$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ — нормальные напряжения; $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xz}, \tau_{zy}$ — касательные напряжения; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ — деформации частиц тела; $\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma_{xy}, \varepsilon_{yz} = \frac{1}{2} \gamma_{yz}, \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \gamma_{xz}$ — половины углов сдвигов; x, y, z — оси пространственной системы координат; $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$ — углы сдвигов.

Возникающая в связи с этим проблема заключается в том, что поведение системы описывается

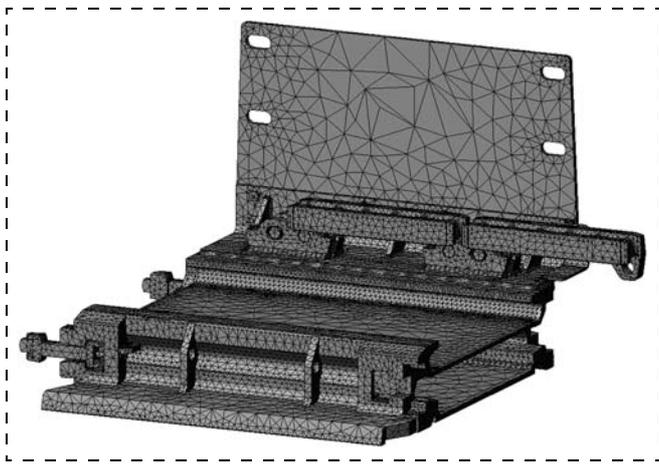


Рис. 5. КЭ-сетка

уравнениями с большим числом неизвестных. Одним из способов устранения этой трудности является использование приближенных методов решения. В настоящее время в связи с активным внедрением в инженерную практику вычислительной техники наиболее эффективным приближенным методом решения прикладных задач механики является метод КЭ.

Одной из современных САПР инженерного анализа является "Т-Flex Анализ", имеющая эффективный автоматический генератор тетраэдрических конечно-элементных сеток. КЭ-модель решетки показана на рис. 5. Она характеризуется следующими параметрами: тип КЭ — 10-узловой тетраэдр; размер сетки относительный — 0,2; радиус улучшения — 5; плавность перехода — 1; величина прогиба — 0,15; сглаживание сетки — 3; включена обработка мелких деталей.

Для последующего выполнения расчета НДС конструкции в соответствии с реальными условиями эксплуатации заданы граничные условия, представляющие собой закрепления конструкции. Полное закрепление, блокирующее все степени свободы для выбранного объекта, задано на нижних гранях решетки, которыми он опирается на забой (рис. 6, см. 3-ю стр. обложки). Также для расчетной модели секции задано частичное закрепление, описывающее контакт между соприкасающимися поверхностями с учетом сварных соединений, которое задает условие запрета взаимопроникновения соприкасающихся граней элементов конструкции.

В соответствии с реальными условиями эксплуатации на решетку шахтного скребкового конвейера действуют следующие нагрузки (рис. 7): статическая от скребка F_1 ; статическая от цепи F_2 ; динамическая от угля F_3 ; статическая от опоры комбайна на боковину q_4 ; статическая от звездочки комбайна на один зуб рейки в направлении, нормальном профилю зуба F_5 ; сдвиговая на верхний $F_6^{вл}$ и нижний $F_6^{нл}$ листы; статическая от сдвижки крепи F_7 .

Статическая нагрузка на решетку от скребков

$$F_1 = sF_c,$$

где $s = l_p/l_c$ — целое число скребков, уместяющихся на секции; l_c — расстояние между соседними скребками; l_p — длина решетки; $F_c = m_c g$ — усилие от одного скребка; m_c — масса одного скребка; g — ускорение свободного падения.

Статическая нагрузка от цепи зависит от числа рядов r цепей:

$$F_2 = rzF_{зц},$$

где $z = l_p/l_{зц}$ — целое число звеньев, уместяющихся на секции; $l_{зц}$ — длина звена цепи; $F_{зц} = m_{зц} g$ — усилие от одного звена цепи; $m_{зц}$ — масса одного звена.

Нагрузки F_1 и F_2 прикладываются как к верхнему листу решетки (рабочий ход), так и к нижнему (холостой ход).

Динамическая нагрузка от падающего угля рассчитывается в соответствии со схемой распределения (рис. 8):

$$F_3 = m_y g.$$

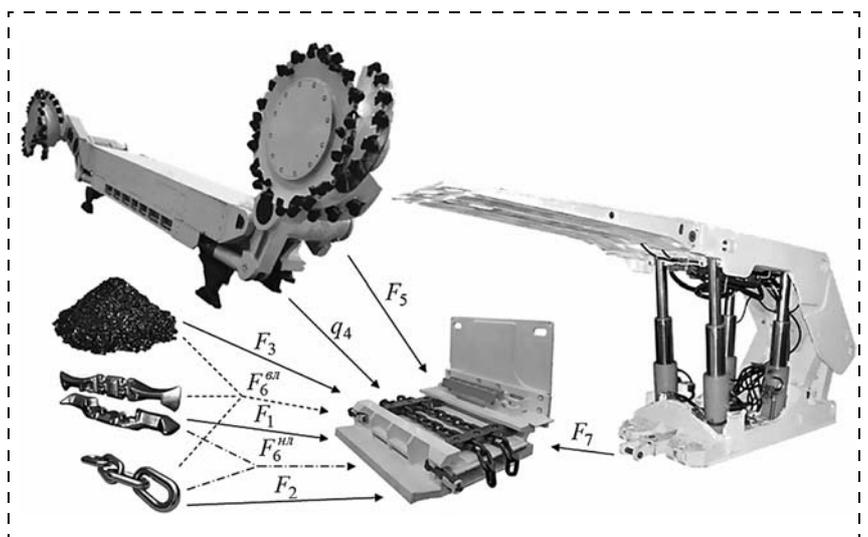


Рис. 7. Внешние нагрузки на решетку

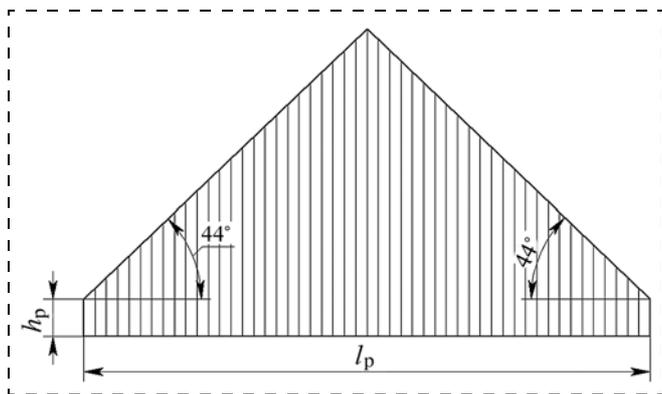


Рис. 8. Нагрузка на рештак от перемещаемого угля в поперечном сечении

Масса перемещаемого рештаком угля определяется по формуле

$$m_y = \rho_y l_p \left(b_p h_p + \frac{b_p^2}{4} \operatorname{tg} 44^\circ \right),$$

где ρ_y — плотность угля; b_p , h_p — соответственно ширина и высота желоба рештака; 44° — угол естественного откоса.

Таким образом, нагрузка от падающего угля составляет

$$F_3 = m_y g.$$

Статическая нагрузка от опоры комбайна рассчитывается через удельное давление q_4 , определяемое весом комбайна

$$q_4 = \frac{m_k g}{S_\Sigma},$$

где m_k — масса комбайна; $S_\Sigma = (2S_l + S_p)$ — суммарная площадь поверхностей контакта рештака и комбайна; S_l — площадь контактной поверхности лапы комбайна; S_p — площадь поверхности контакта комбайна с рейкой.

Нагрузка от опоры комбайна задается поочередно на каждую точку контакта в виде силы, распределенной по площади.

Статическая нагрузка от звездочки комбайна рассчитывается в зависимости от технических характеристик комбайна и прикладывается на один зуб рейки в направлении, нормальном профилю зуба:

$$F_5 = \frac{N \eta}{2v_p},$$

где N — мощность привода конвейера; η — КПД привода; v_p — скорость резания комбайна.

Сдвиговая нагрузка на верхний лист от движения угля, цепи и скребков

$$F_6^{\text{ВЛ}} = F_1 + F_2 + F_3$$

и задается касательно верхнему листу рештака по направлению транспортировки угля.

Сдвиговая нагрузка на нижний лист от движения цепи и скребков

$$F_6^{\text{НЛ}} = F_1 + F_2$$

и задается в направлении касательно верхнему листу рештака против направления транспортировки угля.

Статическая нагрузка от сдвижки крепи F_7 определяется из паспортных данных крепи. Собственная масса рештака рассчитывается автоматически посредством измерения трехмерной модели сборочной конструкции, подготовленной в T-Flex, и задается посредством учета ускорения свободного падения конструкции.

В итоге получена расчетная модель рештака (рис. 9, см. 3-ю стр. обложки), содержащая трехмерные объекты исследования, КЭ-сетку, закрепления и нагружения.

Процедура решения системы линейных алгебраических уравнений, согласно КЭ, осуществляется итерационным способом. Результатами расчета (рис. 10, см. 3-ю стр. обложки) являются перемещения, напряжения и коэффициенты запаса прочности конструкции, определяемые в целях проверки принятых конструкторских решений на условие прочности.

На рис. 10 деформированная конструкция отображена в градации цветовой гаммы. Также в системе T-Flex возможно включение фоновой анимации, отражающей процесс деформации конструкции под действием приложенных нагрузок.

На основании проведенного исследования НДС рештачного става в условиях реальной эксплуатации сделаны следующие рекомендации по совершенствованию конструкции става конвейера в целях увеличения его срока службы:

- 1) исключить прерывистость сварных швов;
- 2) уменьшить зазор в соединении пальца, корзины и рейки до минимально допустимого;
- 3) рассмотреть возможность изготовления рейки с прямым профилем зуба согласно результатам расчета реечного зацепления;
- 4) исключить появление остаточных деформаций в нижнем листе рештака;

- 5) установить дополнительные ребра жесткости на нижний лист решетки;
- б) выполнить анализ конструкции с изменением сварных швов в нижнем листе с условием минимизации длины швов;
- 7) уменьшить толщину нижнего листа в целях обеспечения податливости;
- 8) обеспечить сборку конструкции в соответствии с порядком — сначала нижний лист, затем верхний;
- 9) установить дополнительную опору на средней рейке, уменьшив тем самым сжимающие напряжения в опасных сечениях.

Список литературы

1. **Пухов Ю. С.** Рудничный транспорт: учеб. для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1991. 364 с.

2. **Расчет** и проектирование транспортных средств непрерывного действия: науч. пособие для вузов / под ред. В. А. Будишевского / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, Н. А. Скляр, А. А. Сулима, А. М. Ткачук. Донецк, 2005. 689 с.

3. **Григорьев В. Н., Дьяков В. А., Пухов Ю. С.** Транспортные машины для подземных разработок: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 284 с.

4. **Тихонов Н. В.** Транспортные машины горнорудных предприятий: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 336 с.

5. **Вороновский К. Ф., Пухов Ю. С., Шелопанов В. И.** Горные, транспортные и стационарные машины: учеб. пособие. М.: Недра, 1985. 320 с.

6. **Конвейеры:** справочное издание / А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков, Р. Л. Зенков / под ред. Ю. А. Пертена. Л.: Машиностроение, 1984. 368 с.

7. **Руководство** по эксплуатации и монтажу. Скребок-забойный конвейер СЗК 190/800. ЧР.: Машинное оборудование, 2009. 66 с.

Рецензия на статью

Ю. В. Дмитрака, А. Н. Картавого, Н. Г. Картавого, В. А. Серова "Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов"

Рассмотрев предложение Ю.В. Дмитрака, А.Н. Картавого, Н. Г. Картавого и В. А. Серова "Обоснование разработки малозахватными выемочными агрегатами" для опубликования в журнале "Горное оборудование и электромеханика", считаю целесообразным отметить следующее.

1. В работе рассмотрены теоретические основы резания угля предлагаемым рабочим органом (РО) в сравнении с известными РО шнекового типа.

Следовало бы представить компоновочную схему "выемочного агрегата" по терминологии авторов или "выемочной машины" по существующей терминологии с приводом подачи, с обеспечением управления машиной в пространстве, включая управление на почве и кровле пласта, схемы вибрирования резцов, пылеподавления и концевые операции, включая заезд машины на выемку новой ленты угля, снимаемой РО.

2. Вступление к работе требует уточнения. В настоящее время в Германии и США отсутствуют очистные комбайны для эффективной выемки пластов мощностью менее 1,3 м. Но до известной "реструктуризации" они успешно работали на шахтах Союза и РФ (комбайны типа К103 и К85) для пластов мощностью от 0,8 м с вынесенной подачей и К85 с беспечной подачей от 0,9 м.

В этом направлении продолжает работать Украина и работает Чехия.

Следует отметить, что мировой рекорд длительной производительности в течение нескольких лет на пластах средней

мощности обеспечивается в США в КМЗ, **отрабатывающих пласт менее 1,7 м со средней нагрузкой 22 тыс. т/сут.**

Комбайны фирмы "Джой" обеспечивают скорость подачи до 25 м/мин и захват 0,8...1,2 м.

3. **Основным недостатком струговой и комбайновой выемки угля с захватом 0,25...0,3 м** является отсутствие в настоящее время механизированной крепи, обеспечивающей их эффективную работу в условиях слабых боковых пород пласта.

В благоприятных условиях по этим факторам струговые комплексы в Германии и США обеспечивали нагрузки на забой до 18 тыс. т/сут при удельной энергоёмкости 0,2...0,25 кВт • ч/т.

4. При высоком уровне подвигания забоя в настоящее время при струговой выемке не учитывается снижение сопротивляемости угля резанию под действием горного давления. Это подтверждает переход фирмы "ДБТ" от применения струговых установок на базе изгибающегося скребкового конвейера на фронтально передвигаемый прямолинейный конвейер, являющийся базой современных струговых комплексов, обеспечивающей применение автоматизированной системы управления.

5. Применение вынесенной системы подачи с низким КПД является недостатком известных комбайнов для тонких пластов.

Вывод

Статья представляет научный и практический интерес. Авторам рекомендуется учесть в дальнейших исследованиях приведенные выше замечания.

*Заслуженный конструктор РФ,
д-р техн. наук Б. К. Мышляев*

УДК 622.331

К. В. Епифанцев, асп., Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", г. Санкт-Петербург

E-mail: epifancew@gmail.com

Обоснование геометрических параметров фильер матрицы торфяной формующей машины

Обоснованы геометрические параметры формующей и калибрующей частей фильер матрицы торфяной формующей машины, снижающие энергетические затраты при производстве окускованного торфяного топлива.

Ключевые слова: производство окускованного торфяного топлива, экструдирование, шнековая машина, форма формующей и калибрующей частей фильер матрицы, метод дискретных элементов.

К. V. Epifantsev

Justification of Geometrical Parameters Matrix Dies of Peat Forming Machine

Explains the geometric parameters of the forming dies and calibrating part matrix dies of the peat forming machines, reducing energy costs in the production of peat forming fuel.

Keywords: production of peat fuel production, extrusion, screw machine, the shape of forming and calibrating part dies of the matrix, the method of discrete elements.

В настоящее время в регионах Российской Федерации постоянно возрастает спрос на энергоносители и по данной причине увеличивается добыча торфа, как местного вида топлива [1].

Формование торфяной массы проводится при ее естественной влажности 78...82 %, после чего осуществляется длительная сушка окускованного торфяного топлива со значительными затратами энергии. Предварительная подсушка торфяного сырья до влажности 60...65 % в полевых условиях и последующее формование снижают суммарные сроки сушки. При формовании торфа пониженной влажности уменьшатся затраты на сушку произведенного окускованного торфяного топлива, однако увеличится расход энергии при формовании торфяного сырья на шнековых машинах, оснащенных фильерами матрицы с конической или цилиндрической формующей частью. Для создания более совершенных методов формования шнековыми машинами необходимо научное обоснование геометрических параметров фильер матрицы.

Операция формования торфяной массы — неотъемлемая часть процесса добычи торфяного сырья и получения из него окускованного торфяного топлива шнековыми машинами МТК-16 (Россия), КТД-1, АНБ-704 (Беларусь), РК-1SL (Финляндия).

Рабочим органом торфяной формующей машины является шнек 4 (рис. 1), принимающий торфяное сырье от прорезающей залежь фрезы 5 и подающий материал в фильеры 2, закрепленные в фильерной пластине 3, называемой матрицей.

Отличительной особенностью шнековых машин является возможность быстрой смены матрицы при необходимости перехода от одних типоразмеров куска к другим, создания больших давлений на формируемый материал.

Переход потока массы от большого диаметра шнека к малым диаметрам фильер матрицы и сужение формующей части фильеры матрицы (рис. 2) создает дополнительное сопротивление движению материала за его счет поперечной деформации и уплотнения. Это неизбежно отразится на энергетических затратах из-за трения

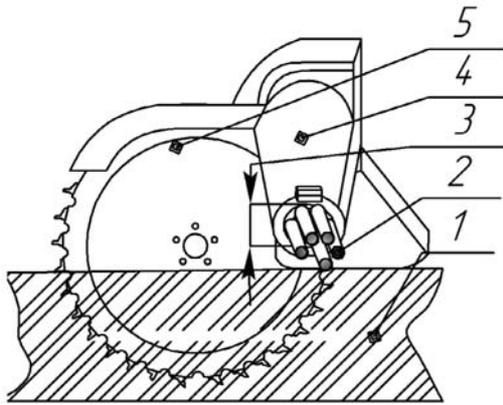


Рис. 1. Добыча торфяного сырья и производство окускованного торфяного топлива на шнековой машине ПК-1SL: 1 — торфяная залежь; 2 — фильеры; 3 — фильерная пластина; 4 — перерабатывающий шнек в кожухе; 5 — фреза

материала о поверхность канала фильеры, скажется на ее износостойкости. Калибрующая часть необходима в фильере для снятия напряжений в материале, полученных им при входе в формующую часть.

На основе исследований отечественных ученых [2, 3] по брикетированию торфа, а также на основании анализа исследований зарубежных авторов по исследованию течения керамических паст [4] предложено входную часть фильеры выполнить по цепной линии. Расчет профиля проводится по формуле:

$$y = \frac{b_1}{2} \left[\exp\left(\frac{x}{h_1 c}\right) + \exp\left(-\frac{x}{h_1 c}\right) \right]; \quad (1)$$

$$c = \frac{1}{\ln \left[1 + \frac{b}{b_1} + \sqrt{\frac{b}{b_1} \left(\frac{b}{b_1} + 2 \right)} \right]}, \quad (2)$$

где h_1 — расстояние между осью симметрии криволинейной части профиля фильеры и входным торцом канала; b — высота криволинейной части профиля канала; b_1 — половина высоты канала по оси симметрии выпуклой фильеры (рис. 3).

По проведенным теоретическим расчетам выполнение сужения входной части фильеры по цепной линии может значительно уменьшить энергетические затраты машины при формовании торфа по сравнению с прямым конусом сужения и цилиндрическим переходом.

Для проверки данных теоретических исследований были проведены виртуальные испытания созданной модели в программе с открытым ис-

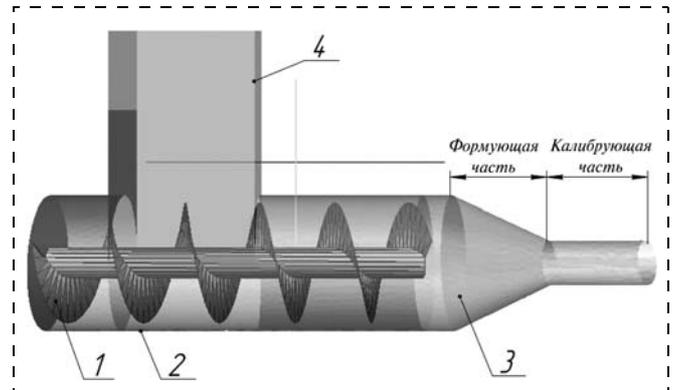


Рис. 2. Элементы конструкции шнековой машины: 1 — перерабатывающий шнек; 2 — корпус машины; 3 — фильера, состоящая из формующей и калибрующей частей; 4 — загрузочный бункер

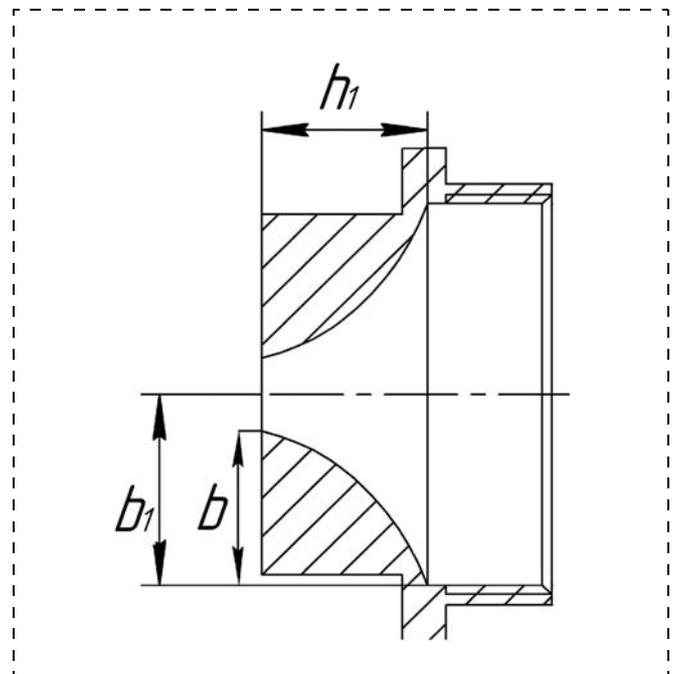


Рис. 3. Входная часть фильеры, выполненной по цепной линии

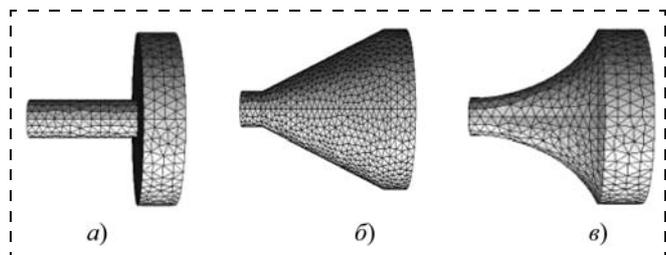


Рис. 4. Форма сужения входной части фильер: а — цилиндрический переход; б — коническая; в — по цепной линии

ходным кодом YADE для моделирования движения частиц методом дискретных элементов с использованием программы визуализации ParaView на базе лаборатории 3D-моделирования Института Обогащения полезных ископаемых Фрайбергской горной академии (TU Freiberg Bergakademie, Germany) [5]. Программа YADE была создана для расчетов по методу дискретных элементов на основании разработок ученых из Гренобльского университета Франции (Université de Grenoble, France) и ученых других ведущих университетов Европы. YADE нашла применение во многих сферах: переработки и разрушения горных пород, анализа работы модульных установок и отдельных машин по прессованию сыпучих веществ.

При проведении расчетов были рассмотрены три формы выполнения сужения входной части фильер (рис. 4).

Расчетные модули программы YADE (рис. 5, см. 4-ю стр. обложки) позволили получить данные о таких величинах, как угловая скорость частиц ω , рад/с; линейная скорость частиц v , м/с; напряжение по нормали в частицах при их взаимодействии с перерабатывающим шнеком $Q_{\text{норм}}$, Па; момент сил на валу шнека M , Н · м; результирующая сил, приложенных к витку шнека $F_{\text{рез}}$, Н.

Полученные в результате компьютерного моделирования данные были сведены в табл. 1. На основании результатов эксперимента можно сделать вывод о том, что при использовании фильеры матрицы, входная часть которой выполнена по

Таблица 1

Результаты испытаний фильер различных форм сужения

Форма сужения	ω , рад/с	v , м/с	$Q_{\text{норм}}$, КПа	M , Н · м	$F_{\text{рез}}$, Н
Цилиндрический переход	1,43	6,55	589,6	7,6	574
Коническая (17,5°)	1,33	6,6	559,1	6,2	423
По цепной линии	1,32	6,4	419,4	5,1	349

цепной линии, момент понижается на валу двигателя в среднем на 33 %, а напряжение по нормали в частицах материала $Q_{\text{норм}}$ — на 18 % по сравнению с фильерой матрицы, входная часть которой выполнена цилиндрической. По длине входной части происходит плавное снижение давления из-за уменьшения энергетических затрат на деформацию торфа и трение о стенки фильеры.

Торфяная масса, сжатая в формующей части, продавливается в ее калибрующую часть, длина которой определяет время релаксации внутренних напряжений в материале и калибрует поверхность куска. Для определения соотношения этих параметров использовалась полуэмпирическая модель Benbow-Bridgwater [6]. Ученые, разработавшие данную модель, исходили из вывода, что общее давление при формовании складывается из давления в зоне нагнетания P_1 и давления в зоне продавливания P_2 (рис. 6, см. 4-ю стр. обложки).

$$P = P_1 + P_2 = (\sigma_0 + \alpha v_{\text{ср}}) \ln\left(\frac{S_0}{\Sigma S}\right) k_{\Phi} + 4(\tau_0 + \beta v_{\text{ср}}) \left(\frac{L}{d}\right), \quad (3)$$

где P_1 — давление в зоне нагнетания, Па; P_2 — давление в зоне продавливания, Па; σ_0 — одноосное напряжение текучести на входе в фильеру, Па; $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость течения массы в формующей части, м/с; α — фактор развития скорости на входе в фильеру; S_0 — площадь сечения корпуса шнека, м; ΣS — суммарная площадь сечения формующей и калибрующей частей фильер, м; τ_0 — напряжение сдвига у стенки формующей части, Па; β — доля пристеночного скольжения от средней скорости течения массы; L — длина формующей части фильеры, м; d — диаметр формующей части фильеры, м; k_{Φ} — экспериментальный коэффициент, учитывающий влияние формы входной части фильеры.

Давление P_1 отражает эффект формы на входе в фильеры, а параметры σ_0 , α расценены как материальные константы, характеризующие сопротивление материала и, как предполагается, независимы от геометрии фильеры. В фильере поток массы идет как твердая пробка, окруженная тонким слоем влаги, отделяющей ее от стенки. Таким образом, касательное напряжение является функцией скорости массы, а β — материальная константа, характеризующая эффект скорости при снижении давления P_2 по длине фильеры. Оценочные показатели снижения напряжения в материале при испытании фильеры с сужением по цепной линии, в уравнение (3) введен коэффициент

формы $k_{\phi} = 0,72$ (предусматривается снижение напряжения по нормали на 18 %) для входной части фильера, выполненных по цепной линии.

Необходимо отметить, что для определения сил взаимодействия между частицами использовалась линейная контактная модель. Жесткость частиц, имитирующих частицы торфа, выбиралась без учета их физических параметров. То есть полученные абсолютные значения сил моментов и напряжений могут использоваться только для отображения качественной картины работы шнековой машины.

Для определения геометрических параметров калибрующей части фильеры матрицы, соотношения длины формующей h_1 и калибрующей h_2 частей фильеры были проведены эксперименты на 8 фильерах различных параметров на прессе "Autograph-Shimadzu" (рис. 7).

В результате были получены зависимости влияния влажности торфяной массы и параметров фильеры на усилие в прессе (табл. 2).

Минимальное усилие при формовании достигается в фильере с параметрами $h_1/h_2 = 2,8$; $h_1/d_1 = 3,4$; $h_2/d_2 = 2$. Максимальное усилие зафиксировано при формовании торфяного сырья в фильере с соотношением $h_1/h_2 = 2,7$; $h_1/d_1 = 6,7$; $h_2/d_2 = 4$ (рис. 8).

При изменении влажности формующего торфяного сырья в интервале от 55 до 60 % (см. рис. 8, зона 1) давление при формовании было максимальным, плавно снижалось при увеличении влажности. При изменении влажности форму-

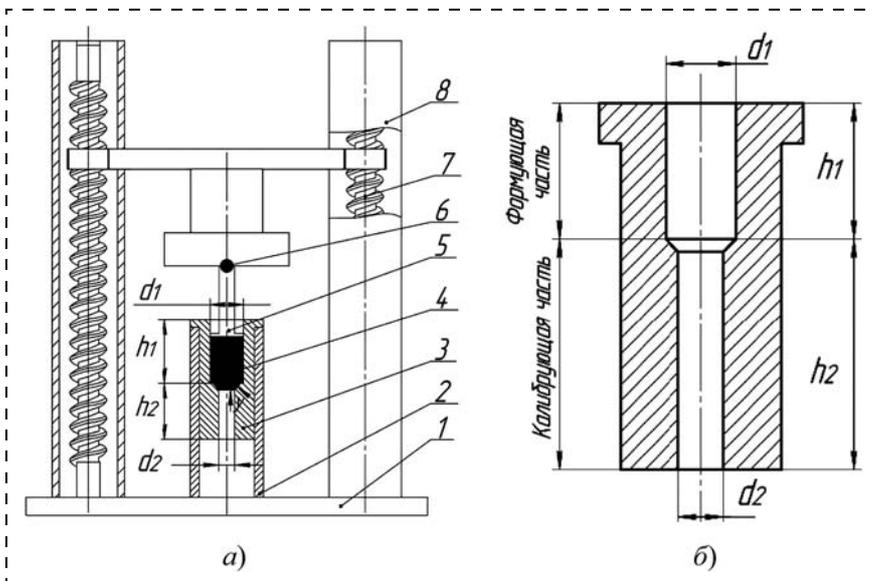


Рис. 7. Схема лабораторного пресса (а) и сечение фильеры (б): 1 — станина пресса; 2 — упорный цилиндр; 3 — фильера; 4 — торфяная масса; 5 — поршень; 6 — тензодатчик; 7 — упорные винты; 8 — вертикальные колонны

мого торфяного сырья в интервале от 60 до 65 % (см. рис. 8, зона 2) давление при формовании было усредненным, при увеличении влажности имело стабильные показатели на всем интервале. При изменении влажности формующего торфяного сырья в интервале от 65 до 70 % (см. рис. 8, зона 3) давление при увеличении влажности стремилось к минимальным показателям усилия. Формование торфа при пониженной влажности в интервале от 60 до 65 % снижает суммарные сроки сушки, как отмечалось в начале статьи. Машина, в которой применены обоснованные геометрические параметры фильер матрицы, при формовании торфяного сырья с влажностью $w = 60...65$ % имеет стабильные показатели усилия при формовании (см. рис. 8, зона 2), позволяющие минимизиро-

Таблица 2

Результаты испытаний фильер различной длины на прессе

Параметры фильеры, мм		h_2/d_2	h_1/d_1	h_1/h_2	Усилие при формовании, Н, при влажности, %			
h_1	h_2				$w = 55$	$w = 60$	$w = 65$	$w = 70$
56,75	20	2	3,4	2,8	2707	2444	2445	1395
85,25	20	2	5	4,2	3061	2557	2502	1600
110,25	20	2	6,7	5,5	3021	2693	2502	1617
56,75	30	3	3,4	1,9	3337	2939	2594	1666
110,25	30	3	6,7	3,7	3816	3206	3000	2550
56,75	40	4	3,4	1,4	3538	2993	2853	2215
85,25	40	4	5	2,1	3980	3222	3111	2450
110,25	40	4	6,7	2,7	4073	3432	3283	2706

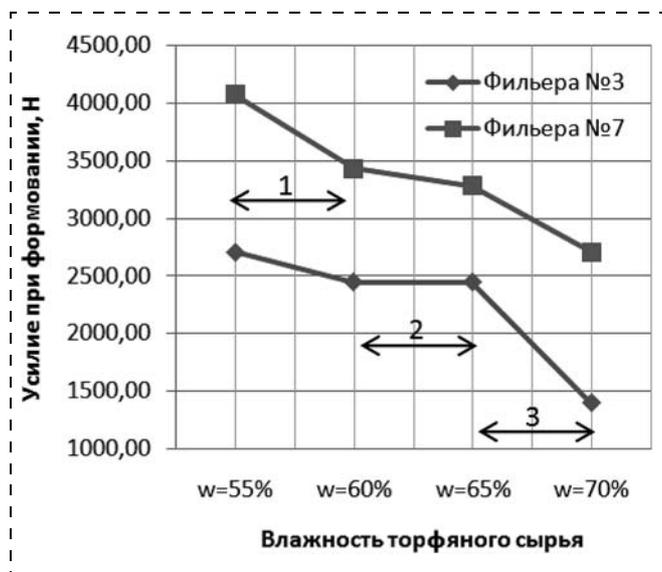


Рис. 8. Зависимость усилия при формовании от влажности торфяного сырья

вать резкие перепады момента сил на валу перерабатывающего шнека, неблагоприятно влияющие на износостойкость привода машины. При этом понижается момент на валу двигателя в среднем на 33 %, а напряжение по нормали в частицах материала $Q_{\text{норм}}$ — на 18 %.

Таким образом, снижение энергоемкости процесса формования торфяного сырья в торфяной формующей машине достигается:

1) при использовании фильер матрицы с формой входной части, выполненной по цепной линии, и с цилиндрической формой калибрующей части;

2) при соблюдении соотношений: длины формующей к калибрующей части $h_1/h_2 = 2,8$; длины формующей части к ее диаметру $h_1/d_1 = 3,4$; длины калибрующей части к ее диаметру $h_2/d_2 = 2$.

При производстве окускованного торфяного топлива на машине с заданными геометрически-

ми параметрами на этапе подготовки торфяного сырья необходимо проводить анализ ботанического состава, степени разложения, зольности, дисперсности и засоренности [9].

Полученные результаты могут быть учтены при модернизации фильер матриц машины МТК-16, а также при конструировании стационарных машин для производства топливных гранул при переработке отвалов горных предприятий [7,8].

Список литературы

1. Михайлов А. В., Селеннов В. Г. Торфяная промышленность России // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 9.
2. Богатов Б. А. Управление процессом разработки торфяных месторождений. Минск: Выш. шк., 1985. 168 с.
3. Горфин О. С. Машины и оборудование по переработке торфа. М.: Недра, 1990. 318 с.
4. Kocsérha I., Kristály F. Effects of Extruder Head's Geometry on the Properties of Extruded Ceramic Products. Materials Science Forum. Vol. 659 (2010). P. 499—504.
5. Šmilauer V., Catalano E., Chareyre B., Dorofeenko S., Duriez J., Gladky A., Kozicki J., Modenese C., Scholtès L., Sibille L., Stránský J., Thoëni K. YADE Reference Documentation.
6. Benbow J., Bridgwater J. Paste Flow and Extrusion, Clarendon Press, Oxford U.K., 1993.
7. Никулин А. Н., Курта А. В., Епифанцев К. В. Получение топливных гранул за счет переработки малоликвидных твердых горючих отходов // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. "Энергетическая безопасность России". Кемерово. 2011. С. 165—167.
8. Епифанцев К. В. Изучение конструктивных особенностей грануляторов с целью выбора машины для производства торфяного топлива / Тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. "Инновационные технологии и экономика в машиностроении". Томск. 2010. С. 518—520.
9. Михайлов А. В., Кремчев Э. А., Большунов А. В., Епифанцев К. В. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва. 2012. № 4. С. 59—63.

УДК 622.271.1:236.73

Ю. А. Мамаев, д-р техн. наук, проф., Н. П. Хрунина, канд. техн. наук, науч. сотр., ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск
e-mail: npetx@mail.ru, adm@igd.khv.ru

Совершенствование технологии дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей

Даны предложения по глубокой дезинтеграции высокоглинистых песков золотоносных россыпей с повышенным содержанием мелкого золота на основе нетрадиционных импульсных и волновых методов воздействия на твердую составляющую гидросмесей.

Ключевые слова: дезинтеграция, ультразвук, электрогидроимпульсное воздействие.

Yu. A. Mamaev, N. P. Khrunina

Enhancement of the Technology of the Disintegration of Highlyclay Goldcontaining Sands of the Field

Suggestions on deep sand gold placers highly clayey disintegration with increased content of fine gold through non-traditional impulse and wave methods of influence on a firm component of gidromixture.

Keywords: disintegration, ultrasound, elektrogidroimpulse excitation.

За последние годы уровень добычи золота из россыпных месторождений Российской Федерации неуклонно снижается. Такая тенденция в основном связана с ухудшением минерально-сырьевой базы россыпной золотодобычи (снижением среднего содержания золота в песках, ухудшением его качественной характеристики — повышением удельного веса трудно извлекаемого золота мелких, тонких и пластинчатых классов, увеличением в разрабатываемых месторождениях глинистого материала и др.). Создавшееся положение требует проведения широкомасштабных исследований по разработке высокоэффективных инновационных технологий, обеспечивающих нейтрализацию негативного влияния отрицательных факторов и позволяющих создать условия для дальнейшего развития россыпной золотодобычи.

Одним из путей повышения эффективности разработки золотороссыпных месторождений является применение нетрадиционных физических методов воздействия на золотосодержащие пески в целях их дезинтеграции с последующим выделением ценных компонентов гравитационным процессом. В настоящее время в России развиваются

исследования по дезинтеграции золотосодержащих песков под действием разнообразных мощных источников упругих микроколебаний, в том числе ультразвуковых [1—4]. В качестве объекта исследований принята Нагиминская глубокозалегающая золотоносная россыпь, которая относится к весьма сложным месторождениям по добыче и переработке из-за повышенного содержания в песковой фракции частиц размером менее 0,005 мм, доходящего по нашим данным до 84 %, и высокого содержания мелкого золота. На эффективность дезинтеграции таких песков влияет как способ воздействия, так и физические его параметры, которые, в свою очередь, зависят от упругих свойств, состояния песков, в том числе от водонасыщения.

Для эффективного решения проблемы глубокой дезинтеграции песков Нагиминского месторождения в лаборатории ПОРМ (проблем освоения россыпных месторождений) с использованием оборудования Центра коллективного пользования (ЦКП "ЦИМС") ИГД ДВО РАН в 2011—2012 гг. были проведены исследования гранулометрического, фракционного состава, физико-механиче-

ских свойств, дисперсионный (посредством лазерного дифракционного микроанализатора "Analysette 22") и спектрометрический анализ (с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра INNOV-X-50) высокоглинистых золотосодержащих песков месторождения р. Нагима. Для определения прочностных свойств песков с помощью прибора "Пульсар-1.1" измерялась скорость (рабочая частота составляла 60 кГц) продольных волн в образцах с естественной влажностью. Проведены расчеты и выполнен сравнительный анализ упругих характеристик песков как в естественном, так и в водонасыщенном состояниях. Исследования позволили оценить характер и влияние процесса водонасыщения на высокопластичную часть глинистых песков месторождения р. Нагима.

Учитывая полученные данные и сложность глубокой (до 0,001 мм и более) дезинтеграции песков, в ИГД ДВО РАН в 2010 г. была разработана технология акустикогидроимпульсного разупрочнения и дезинтеграции высокопластичных глинистых песков золотоносных россыпей [4], которая может быть использована при освоении природных и техногенных высокоглинистых россыпных месторождений благородных металлов с повышенным содержанием мелкого и тонкого золота. Предлагаемая технология включает вскрытие россыпи, гидроразрыв песков, безнапорную подачу гидросмеси в накопитель и напорное гидротранспортирование гидросмеси к системе размыва и классификации. Технология характеризуется процессами, обеспечивающими глубокую дезинтеграцию глинистой составляющей гидросмеси

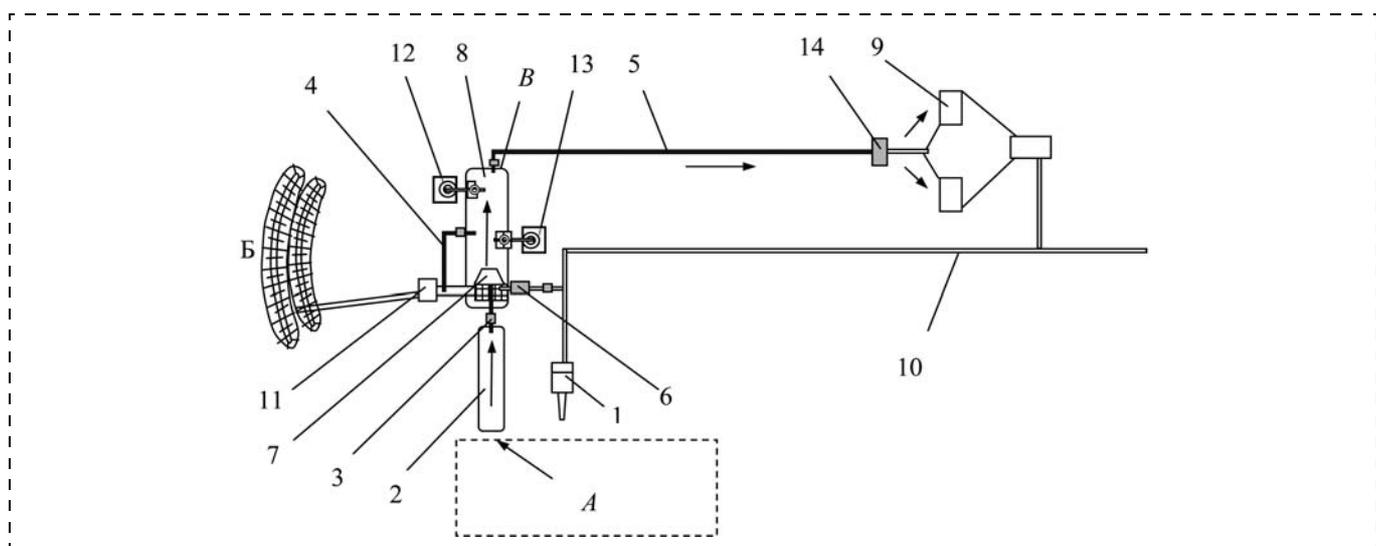
посредством периодического ультразвукового воздействия направленным излучением частотой 20 кГц и интенсивностью 5...10 Вт/см² на твердую составляющую гидросмеси после периодического гидродинамического воздействия импульсных нагрузок, образующихся при высоковольтном электрическом пробое и создающих напряжение с превышением предельной прочности твердой составляющей гидросмеси в зависимости от ее водонасыщения. Количество разрядов n определяется из расчета характерного размера h наибольшего куска [5]

$$n \geq \frac{h}{1,22 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tau \left(1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)},$$

где E и ρ — соответственно модуль Юнга и плотность разрушаемой породы в водонасыщенном состоянии; τ — время действия разряда; σ_1 — напряжение, обеспечивающее критическое состояние разрушаемого куска в водонасыщенном состоянии; σ_2 — максимальное напряжение, создаваемое в куске давлением импульсного разряда.

Процесс осуществляется с помощью добычного гидромеханизированного комплекса, представленного на рисунке.

Комплекс включает гидромонитор 1, накопитель 2, установки напорного гидротранспортирования гидросмеси 3—5, систему размыва и классификации 6, которая сопрягается посредством подающего классифицированную гидросмесь механизма 7 с дополнительным накопителем 8, обогатительный комплекс 9, систему подачи воды 10



Добычной гидромеханизированный комплекс

и отвалообразовательный комплекс 11, установку ультразвукового воздействия 12 и установку электрогидроимпульсного воздействия 13 на твердую составляющую гидросмеси. Установка напорного гидротранспортирования гидросмеси 5 включает накопитель 14 с регуляцией подачи гидросмеси на обогатительный комплекс 9.

Размытые гидромонитором 1 пески в виде гидросмеси поступают из забоя А в накопитель 2 для обеспечения регулируемой подачи в систему размыва и классификации 6, которая осуществляет частичную дезинтеграцию крупнокусковой фракции и последующее отделение пустой породы. Пустая порода с помощью комплекса отвалообразования 11 поступает в зону В, а остальная часть горной массы направляется в дополнительный накопитель 8, где осуществляется дробление кусков с помощью электрогидроимпульсной установки 13 до размера –20...50 мм. Дно накопителя 8 выполнено с уклоном для свободного перемещения твердой составляющей пульпы в зону В, где производится с помощью ультразвукового воздействия установкой 12 дальнейшая глубокая дезинтеграция твердой составляющей гидросмеси до размера частиц –0,001 мм и менее. Из зоны В пульпа подается в накопитель гидросмеси 14, а затем распределяется по обогатительным установкам комплекса 9, обеспечивающим выделение мелких и тонких частиц ценного компонента гравитационным методом.

Процесс активной и глубокой дезинтеграции высокоглинистых песков с использованием ультразвука и импульсного электрогидродинамического воздействия может осуществляться при разработке глубокозалегающих россыпей открытым способом.

Технология обеспечивает экологическую безопасность и позволяет осуществлять эффективное направленное преобразование как высокопластичных, так и слабопластичных глинистых песков россыпей.

Предложенная новая технология эффективной дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей может быть использована в широких масштабах при освоении природных и техногенных высокоглинистых россыпных месторождений полезных ископаемых с повышенным содержанием мелкого и тонкого золота.

Список литературы

1. **Мамаев Ю. А., Хрунина Н. П.** Определение оптимальных параметров ультразвукового излучения при воздействии на краевые зоны золотосодержащих песков россыпей // Известия вузов. Горный журнал. 2008. № 6. С. 71–74.
2. **Хрунина Н. П.** Математическое моделирование процесса образования новых поверхностей при ультразвуковом воздействии на песчано-глинистую породу в воде // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 2. С. 151–155.
3. **Гаврилов Г. Н., Егоров А. Л., Коровин С. К.** Электрогидроимпульсная технология в горном деле и строительстве. М.: Недра, 1991. 127 с.
4. **Пат. 2433867.** Российская Федерация, МПК6 В03В 5/00, Е21С 41/30. Способ акустикоимпульсного разупрочнения и дезинтеграции высокопластичных глинистых песков золотоносных россыпей / Хрунина Н. П., Рассказов И. Ю., Мамаев Ю. А. — № 2010118911; заявл. 11.05.2010; опубл. 20.11.2011. Бюл. № 32. 6 с.
5. **Гаманович В. И., Райзман В. А., Стрельцов В. А.** Разрушение горных пород импульсными нагрузками // Электрический разряд в жидкости и его применение: сб. науч. тр. Киев: Наук. думка, 1977. С. 161–165.

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Дизайнер *Т.Н. Погорелова*. Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *Т.В. Пчелкина*.

Сдано в набор 18.06.2012. Подписано в печать 25.07.2012. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO812. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.



**UZ
MINING
EXPO**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ
"UZBEKISTAN INDUSTRIAL FORUM"
3-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
"UZMININGEXPO-2012"
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**19 - 21 Сентября 2012
Узбекистан, Ташкент, Узэкспоцентр**

ОДНА ВЫСТАВКА – ГОРЫ ВОЗМОЖНОСТЕЙ!

Основные разделы выставки:

- Новейшие технологии, методы и средства поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых.
- Технологии и оборудование для добычи полезных ископаемых открытым и подземным способами.
- Обоганительное оборудование и переработка полезных ископаемых.
- Сортировочное, дробильное оборудование.
- Буровая техника. Буры, молоты.
- Горные и шахтные машины и оборудование. Самоходные шахтные машины. Погрузо-доставочные машины, транспортные средства для разработки туннелей горной проходки.
- Охрана окружающей среды при разработке месторождений.
- Транспортировочное оборудование.
- Системы контроля и прогнозирования газопоявления в шахтах. Индивидуальные датчики уровня газа.
- Карьерная техника (экскаваторы, бульдозеры, грейдеры и др).
- Вспомогательные машины и оборудование. Запчасти. Взрывчатые вещества, системы детонации, зарядное оборудование.
- Конвейерные системы.
- Землеройное оборудование.
- Контрольно-измерительное, лабораторное оборудование.
- Электротехническое оснащение шахт и рудников.
- Взрывозащитное электротехническое оборудование.
- Электроосветительные приборы.
- Вентиляция горных выработок.
- Инжиниринговые услуги в горном деле.
- Противопожарная техника, средства безопасности.
- Спецодежда и средства защиты.



Организатор: IEG Uzbekistan
Узбекистан, 100084, Ташкент,
ул. А.Темура, 107 Б, офис 4С-02
Тел.: +998 71 238 59 82
Факс: + 998 71 238 91 82
E-mail: prod@ieguzexpo.com
www.ieguzexpo.com