

*С. Е. Алексеев<sup>1</sup>✉, Б. Кубанычбек<sup>1</sup>*

## **Совершенствование конструкций погружных пневмударников высокого давления**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н. А. Чинакала» СО РАН, г. Новосибирск, Российская федерация.  
e-mail: Alex@misd.ru

**Аннотация:** Показаны преимущества использования энергоносителя высокого давления. Представлена схема погружных пневмударников высокого давления ПВ170 и ПВ130. Приведены результаты их испытаний. Для данной схемы есть возможность введения разрядного клапана, который опорожняет камеру прямого хода во время движения ударника на обратном ходу, уменьшает препятствие движению и обеспечивает большой рабочий ход ударника. Приведена конструкция пневмударника ПВ254 с разрядным клапаном. Произведен анализ прочности наиболее нагруженной детали – ударника. Для увеличения прочностных характеристик рассматривается выбор высокопрочных сталей и усовершенствование технологии термообработки.

**Ключевые слова:** энергия удара, давление, клапан, порода, скважина, буровой инструмент.

*S. E. Alekseev<sup>1</sup>✉, B. Kubanychbek<sup>1</sup>*

## **Design improvement of high air pressure DTH hammers**

<sup>1</sup>Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russia  
e-mail: Alex@misd.ru

**Abstract:** The advantages of application of a high pressure energy source are demonstrated. The schematic of high air pressure DTH hammer models PV170 and PV130 is described. Their test data are reported. This schematic allows introduction of an unloading valve which empties the forward stroke chamber during the backward travel of the piston, decreases the piston travel obstruction and ensures a longer power stroke of the piston. The design of air hammer PV254 with an unloading valve is presented. The strength of the most loaded part—the piston—is analyzed. For the enhancement of the strength characteristics, a set of high-strength steels and the amendment of the thermal treatment technology are discussed.

**Keywords:** impact energy, pressure, valve, rock, borehole, drilling t

### ***Введение***

Использование пневматических машин ударного действия имеет ряд положительных качеств. Это надежность работы в различных условиях, мобильность, простота обслуживания, относительно невысокая стоимость.

Такие машины разрабатываются для бурения скважин в породах средней и высокой крепости, для проходки скважин в уплотняемых грунтах, для вертикальной и горизонтальной забивки труб, в экскаваторных ковшах активного

действия и других областях. В мировой практике направление создания этих машин остается актуальным и активно развивается [1-3].

В настоящее время выражена тенденция все большего повышения давления используемого сжатого воздуха. Ведущие зарубежные фирмы достаточно давно перешли на давление 0,9 – 1,8 МПа. Сейчас применяется сжатый воздух давлением до 3,5 МПа.

Для погружных пневмоударником технико-экономическими преимуществами повышения давления являются увеличение на порядок скорости бурения и ресурса – скорость бурения с 90 – 150 мм/мин. увеличивается до 800 – 1000 мм/мин. (при бурении по крепким гранитам), а ресурс с 300 – 500 пог. метров скважин до 5000 пог. м. и более. Появляется возможность существенного увеличения глубины бурения, снижается энергоемкость разрушения горных пород. Улучшаются удельные показатели. Так увеличение ударной мощности приходящейся на единицу массы машины для погружных пневмоударником, работающих в ограниченном пространстве скважины, имеет большое значение, поскольку позволяет выполнить машину компактной с обеспечением высокой производительности. Повышается экономичность [4].

В последнее время все большее распространение в России получают зарубежные буровые станки с погружными пневмоударниками высокого давления. Создание отечественных конструкций способствует решению проблемы импортозамещения.

Для молотов для забивки труб повышение рабочего давления также позволяет увеличить производительность и расширить диапазон диаметров забиваемых труб для каждого типоразмера молота.

С изменением давления энергоносителя меняется и конструкция машин. Изменяются система воздухораспределения, конструкция отдельных деталей, технология изготовления, марки применяемых материалов. Образуется иной рабочий цикл. Необходима модернизация и инструмента. Расширяется сфера использования машин. Все это требует изучения.

Для России данная тема наиболее актуальна, т.к. пока основным рабочим давлением для пневмоударных машин, особенно в подземных условиях, остается давление 0,5 – 0,7 МПа.

### ***Объект исследования***

В ИГД СО РАН разработана схема, соответствующая требованиям, предъявляющим к пневмоударникам высокого давления, с камерой постоянного давления обратного хода, представленная на рис.1 Это схема пневмоударника закрытого типа с выхлопом отработанного воздуха на забой скважины [5].

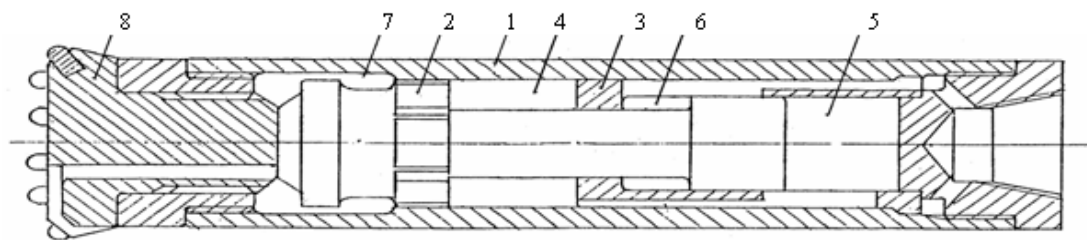


**Рис. 1.** Схема погружного пневмударника с камерой обратного хода постоянного давления

1 – цилиндр; 2 – ударник; 3 – гильза; 4 – кольцевая камера прямого хода; 5 – торцевая камера прямого хода; 6 – камера постоянного давления обратного хода; 7 – расточка; 8 – буровой инструмент

По данной схеме (пневмударники ПВ170, ПВ130) испытывались в различных условиях.

### ***Испытания погружных пневмударников ПВ170 и ПВ130***

#### **Пневмударник ПВ170**

На карьере «Борок» г. Новосибирск бурились взрывные скважины диаметром 170 мм глубиной 12 м по гранитам крепостью  $f = 12 \dots 14$  по шкале М.М. Протодьяконова. Скважины значительно обводнены. Работа осуществлялась на импортном буровом станке повышенного давления SWDB165. Станок оборудован компрессором производительностью 21,2 м<sup>3</sup>/мин на давление 1,38 МПа.

На Коенском карьере Тогучинского района Новосибирской области работа осуществлялась на этом же станке. Бурились взрывные скважины диаметром 170 мм глубиной 13 м по диабазам крепостью  $f = 14 \dots 16$  по шкале проф. М.М. Протодьяконова пробурено 17 скважин. Пневмударник показал также хорошую работоспособность. При работе давление на компрессоре не превышало 1,2 МПа, что связано с расходной характеристикой пневмударника. Механическая скорость бурения составила 320 мм/мин. Было израсходовано 2 буровых коронки. Выход из строя коронок происходил по причине износа периферийных штырей. Нарботка на коронку в этих условиях составила 110,5 м скважин.

Проверка показала работоспособность конструкции.

Пневмударник ПВ130 под импортную буровую коронку DHD350 (рис. 2).



**Рис. 2.** Импортная буровая коронка DHD350 и опытный образец пневмударника ПВ130

В 2018 г. проводились испытания пневмоударника ПВ130. Работа осуществлялась на шведском буровом станке Ros L8, давление сжатого воздуха составляло 2,1 МПа. На карьере «Скала» НСО проведено пробное бурение, показавшее работоспособность пневмоударника, на карьере «Борок» г. Новосибирска набурено 300 пог.м. скважин, в Алтайском крае набурено 570 м. Скорость бурения по граниту составила 600 мм/мин, что не уступает скорости бурения зарубежных аналогов в этих же условиях [6-8].

Ударник пневмоударника ПВ130 был изготовлен из отечественной легированной стали 20Х2Н2А по ГОСТ 4543-71.

На первом этапе испытаний было пройдено 870 пог.м. скважин по гранитам. Однако, наблюдалась поломка ударника (рис.3).



**Рис. 3.** Поломка ударника

При анализе причин поломки было произведено численное моделирование возникновения напряжений в наиболее уязвимых местах ударника (рис. 4) [9-10]. Некоторые зависимости представлены на рис.5.

Предел текучести 785,6 МПа      Узел № 42

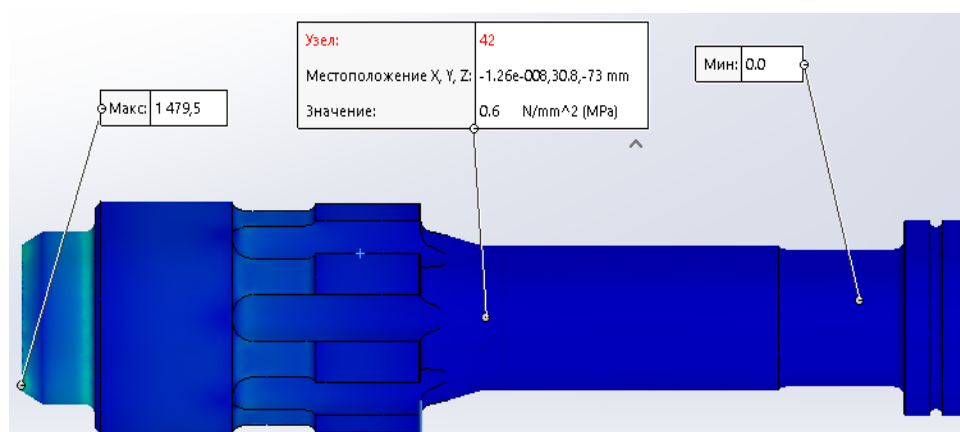


**Рис. 4.** Ударник пневмоударника ПВ130

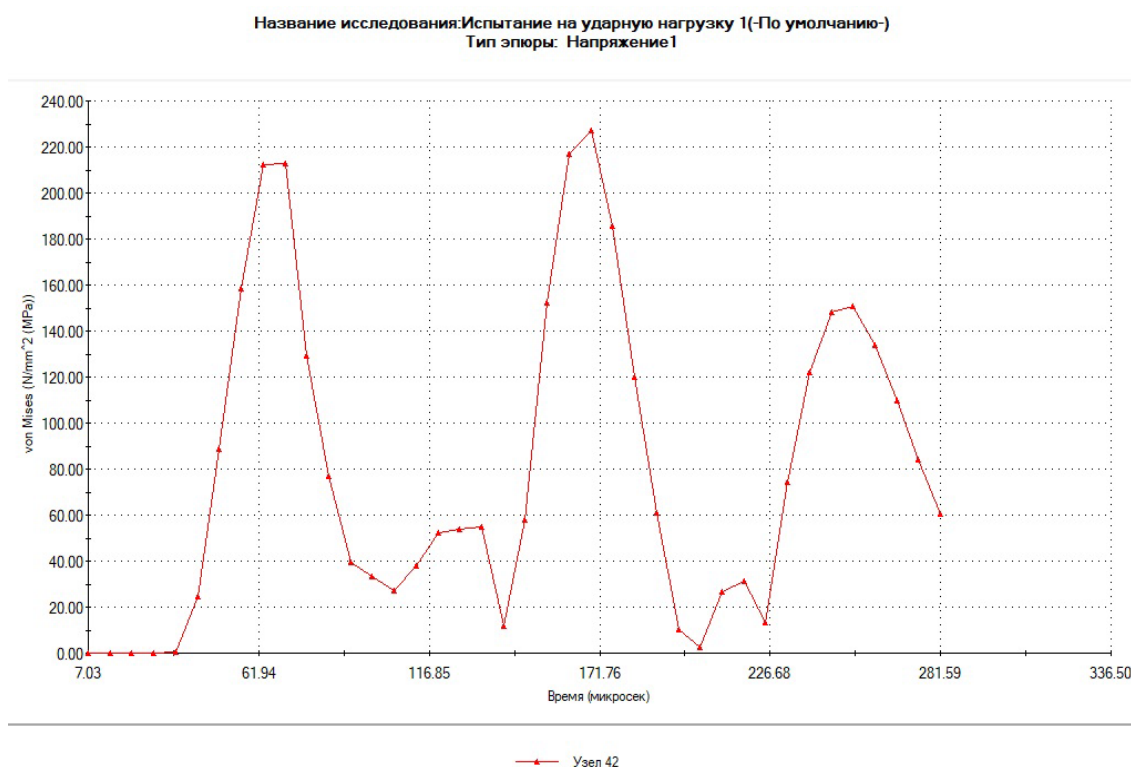


**Рис. 5.** Напряжения в теле ударника.

Высокий ресурс работы передовых моделей пневмоударников с высокими показателями ударной мощности может быть обеспечен применением новых высокопрочных материалов [11]. Стали, применяемые для изготовления ударников, должны обладать высокой прочностью, значительным сопротивлением усталостному разрушению и поверхностному выкрашиванию, а также высокой износостойкостью поверхности. В настоящее время для изготовления массивных ответственных деталей пневмоударников традиционно используют низкоуглеродистые легированные стали марок 12ХН3А или 12Х2Н4МА, упрочняемые цементацией с последующей закалкой и низким отпускком. Однако прочностные характеристики стали 12ХН3А не обеспечивают надежную работу ударников ударных машин высокого давления. Напряжения в объеме детали будут близки к пределу текучести (600 МПа), что может привести к разрушению стали по механизмам малоциклового усталости.

Анализ материалов, применяемых компанией Atlas Copco для изготовления пневмоударников, свидетельствует о том, что для производства ударников используют среднеуглеродистые легированные стали (таблица) близкие по составу к отечественной марке 30Х2Н3МА. Повышенное содержание углерода в поверхностном слое ударника (0,78 % С) позволяет сделать вывод, что для обеспечения высоких показателей износостойкости ударники подвергают цементации. На поверхности ударника сформирован упрочненный слой толщиной до 1,5 мм и твердостью HRC 57...59, обеспечивающий высокое сопротивление изнашиванию и обладающий повышенным сопротивлением зарождению усталостных трещин.

Сердцевина ударника имеет структуру отпускаемого мартенсита с твердостью HRC 44...46. Данные литературных источников и эксперименты, проведенные на кафедре материаловедения в машиностроении НГТУ, показывают, что такая структура стали обеспечивает наивысшие характеристики сопротивления усталостному разрушению.

Отличительной особенностью материалов, применяемых для изготовления ответственных деталей ударных машин, является их малая загрязненность неметаллическими включениями. Так загрязненность стали неметаллическими включениями у пневмоударников Atlas Copco соответствует 1 баллу по ГОСТ 1778-70. Проведенные ранее исследования показали, что неметаллические включения, содержащиеся в стали, негативно влияют на ее сопротивление усталостному разрушению при воздействии импульсов сжимающей нагрузки. Наиболее интенсивно процессы усталостного разрушения стали происходят, если в воздушном энергоносителе содержится вода, что может приводить к существенному снижению ресурса работы деталей ударных машин.

**Таблица 1.** Химический состав сталей, применяемых для изготовления бойков новых энерговооруженных пневмоударников.

| Наименование                      | Содержание химических элементов, % (Fe-ост) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                   | C                                           | Mn    | Si    | P     | S     | Cr    | Mo    | NI    | W     |
| Ударник Atlas Copco (сердцевина)  | 0.274                                       | 0.777 | 0.341 | 0.020 | 0.005 | 1.271 | 0.252 | 3,143 | 0.014 |
| Ударник Atlas Copco (поверхность) | 0.781                                       | 0.718 | 0.278 | 0.030 | 0.012 | 1.170 | 0.231 | 3,531 | 0.018 |
| 40X2H2MA                          | 0.379                                       | 0.423 | 0.198 | 0.002 | 0.013 | 1.406 | 0.243 | 1,496 | 0.001 |

Для изготовления новой модели пневмоударника ПВ170 разработки ИГД СО РАН была использована высококачественная сталь 40X2H2MA, термически упрочненная различными способами. В качестве базовой обработки была использована традиционная закалка в масле с последующим отпуском при температуре 400°C. Ряд образцов был упрочнен перспективной термомеханической обработкой со смешанным мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ), разработанной на кафедре материаловедения в машиностроении НГТУ. Суть обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитизации ее деформировании и охлаждении в расплаве солей. Горячая деформация приводит к измельчению зерен аустенита и способствует формированию мелкодисперсной структуры мартенсита и бейнита. Принципиальное отличие разработанной технологии от известных технологических процессов высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) и термомеханической изотермической обработки с бейнитным превращением переохлажденного аустенита (ВТМИЗО) заключается в том, что в стали формируется мелкодисперсная смешанная структура, состоящая из нижнего бейнита и продуктов отпуска мартенсита [12, 13] Сталь, обработанная по технологии ВТММБ при сопоставимых

показателях прочности, имеет более чем в два раза выше ударную вязкость и в шесть раз выше трещиностойкость по сравнению со сталью, упрочненной по традиционной технологии закалки с отпуском. Новый технологический процесс целесообразно применять для упрочнения поковок деталей ударных машин, изготавливаемых с использованием технологии горячей объемной штамповки.

Для изготовления тяжело нагруженных деталей ударных машин целесообразно использовать среднеуглеродистые легированные стали, закаленные и отпущенные до твердости HRC 44...48. Если в цикле производства деталей возможно использование операции горячей объемной штамповки, то наиболее эффективным является технологический процесс высокотемпературной термомеханической обработкой с мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ), который позволяет обеспечить высокую прочность, ударную вязкость и трещиностойкость получаемых поковок.

### ***Схема погружного пневмоударника с разрядным клапаном***

Для уменьшения влияния перетечки воздуха необходимо ввести в рабочий цикл режим разрядки камер прямого хода в период обратного хода, что уменьшит сопротивление движению ударника и значительно увеличит его ход. Для этого в конструкцию вводится резиновое кольцо, исполняющее роль разрядного клапана (рис.6). Его функция заключается в удалении воздуха, поступающего через зазоры в соединении задней гильзы и цилиндра в атмосферу, что создает условие более свободного движения ударника на обратном ходу [14,15].

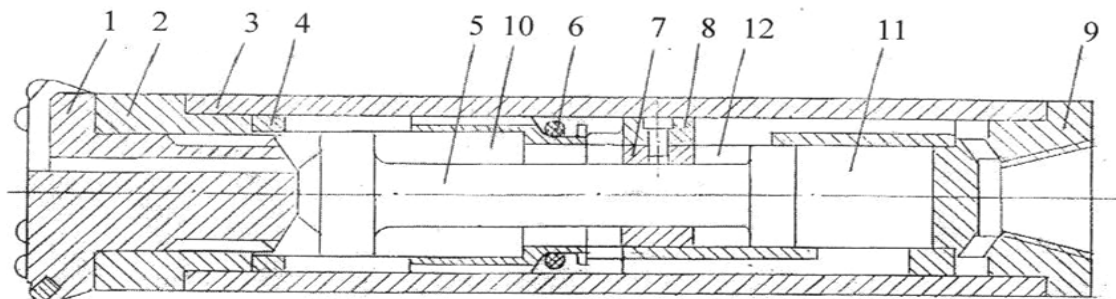


Рис.6. Схема погружного пневмоударника с разрядным клапаном.

1 – буровой инструмент; 2 – букса; 3 – цилиндр; 4 – передняя гильза; 5 – ударник;  
6 – резиновое кольцо; 7 – разрезное кольцо; 8 – задняя гильза; 9 – переходник;  
10 – кольцевая камера прямого хода; 11 – торцевая камера прямого хода; 12 – камера обратного хода постоянного давления

Резиновое кольцо 6, находится в проточке гильзы 4 с зазором с внутренней стенкой цилиндра 3. При движении ударника 5 на обратном ходу, воздух, оставшийся после выхлопа в кольцевой 10 и торцевой 11 камерах прямого хода, а также воздух, поступающий в эти камеры через зазоры в посадке задней гильзы 8 и цилиндра 3, имеет возможность выходить через указанный зазор, каналы в передней гильзе и далее в атмосферу. Поскольку площади ударника 5 со стороны

торцевой и кольцевой камер прямого хода существенно больше площади ударника со стороны кольцевой камеры обратного хода, то сжатый воздух в торцевой и кольцевой камерах прямого хода тормозит движение ударника на обратном ходу и ограничивает величину его хода. Выпуск воздуха из торцевой и кольцевой камер прямого хода после отсечки выхлопа через резиновое кольцо б позволяет снизить противодействие и уменьшить сопротивление движению ударника, при этом ход ударника на обратном ходу увеличивается. Во время прямого хода ударник 5 находится под давлением сжатого воздуха со стороны торцевой и кольцевой камер прямого хода на большей величине хода, что увеличивает энергию удара и ударную мощность в целом.

Резиновое кольцо в качестве клапана достаточно органично вписывается в конструкцию пневмоударника, не нарушая его простоты. По данной схеме спроектирована физическая модель устройства. Исследования показали, что использование данного разрядного клапана позволяет повышать энергию удара более, чем на 20 %.

Влияние клапана на работу выявлено при съемке и обработке диаграмм давлений в камерах прямого и обратного хода (рис.7).

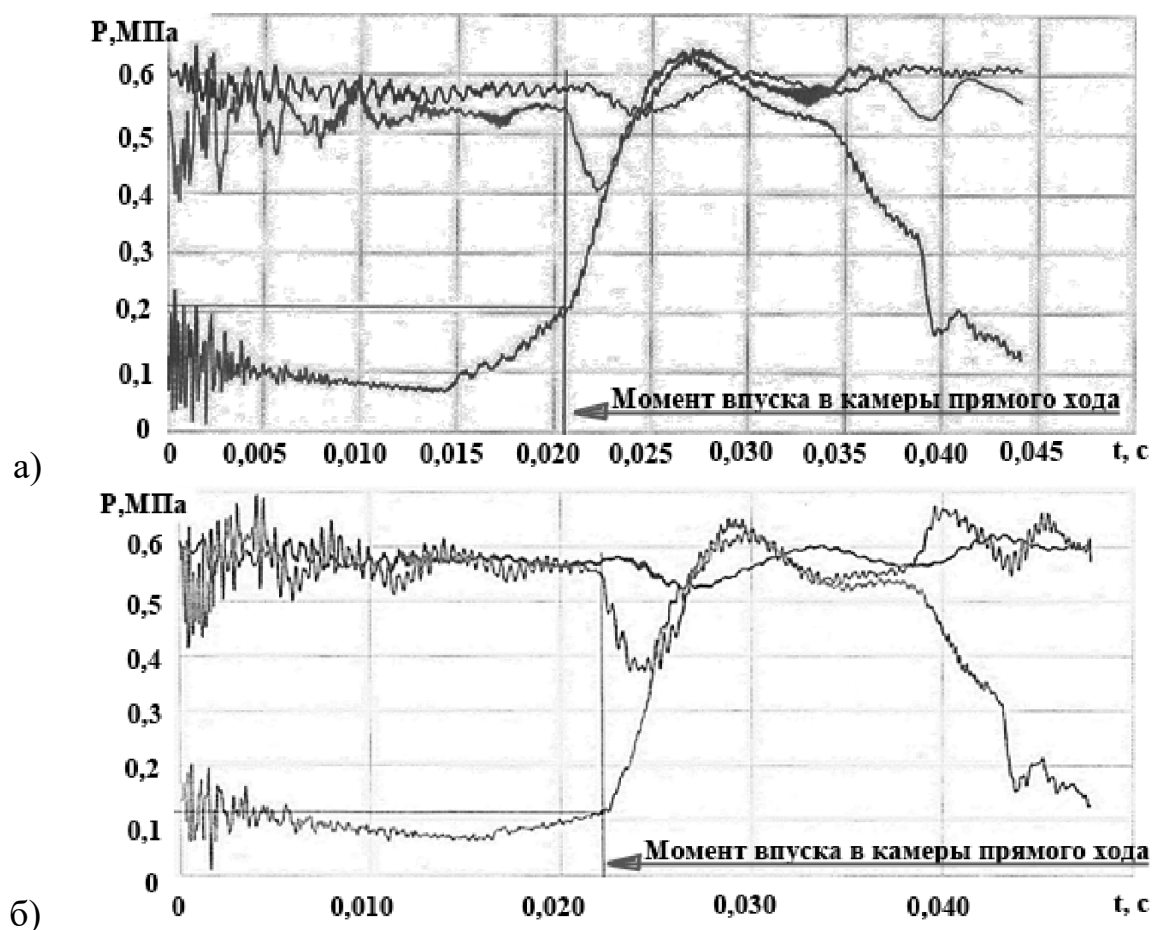


**Рис. 7.** Диаграммы давлений в камерах физической модели.

а – без клапана, б – с резиновым клапаном.

На диаграммах видно, что при работе с клапаном давление в камере прямого хода перед началом впуска сжатого воздуха на 0,1 МПа меньше, чем без клапана, что уменьшило сопротивление движению ударнику, при совершении им холостого хода и увеличило ход со 82 мм до 92 мм и позволило увеличить энергию удара на 20 %.

По данной схеме с учетом опыта испытаний предыдущих моделей спроектирован погружной пневмоударник высокого давления ПВ254 на диаметр скважины до 254 мм (рис.8) под импортную буровую коронку SD10.

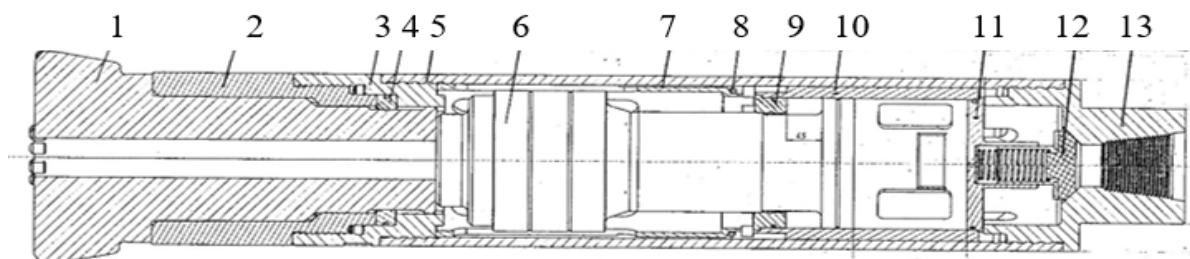


Рис.8. Пневмоударник ПВ254 высокого давления.

1 – буровая коронка; 2 – гайка шлицевая; 3 – букса; 4 – полукольца; 5 – корпус; 6 – ударник; 7 – гильза задняя; 8 - разрядный клапан; 9 – разрезная втулка; 10 – гильза задняя; 11 – крышка; 12 – клапан обратный; 13 – переходник.

Разрезная втулка охватывает среднюю меньшую ступень ударника по достаточно плотной, но подвижной посадке Н8/е7. Контакт разрезной втулки с поверхностью воздухораспределительной гильзы осуществляется по посадке Н9/с8 с гораздо большим зазором, обеспечивающим возможность некоторого перемещения разрезной втулки в радиальном направлении при движении ударника. Избежать перетекания сжатого воздуха из камеры холостого хода в полость позволяет уплотнительное кольцо. От выдавливания разрезной втулки в полость предотвращает стопор.

На основе конструкторской проработки был изготовлен экспериментальный образец пневмоударника со следующими техническими характеристиками:

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Рабочее давление, МПа               | 2,0;  |
| Диаметр буримой скважины, мм.       | 254;  |
| Энергия удара, Дж.                  | 2250; |
| Частота ударов, с-1                 | 20;   |
| Ударная мощность, кВт.              | 45;   |
| Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин | 48.   |

### ***Заключение***

Использование энергоносителя высокого давления является важным резервом совершенствования погружных пневмоударников. Выбор энергетических параметров пневмоударника, отработка конструкции бурового инструмента со строгим учетом закономерностей процесса разрушения породы, также позволяет повысить

эффективность работы пневмоударника, дает возможность более полного использования имеющихся ресурсов, является путем интенсивного развития.

Конструкции пневмоударников позволяют соответствовать производственным условиям с использованием буровых станков высокого давления, повысить производительность бурения и рассматривать вопросы импортозамещения.

Переход на повышенное давление воздуха обеспечивает высокие энергетические параметры машины, но и создает все большие напряжения в ударных деталях.

Для изготовления тяжелонагруженных деталей ударных машин целесообразно использовать среднеуглеродистые легированные стали, закаленные и отпущенные до твердости HRC 44...48. Если в цикле производства деталей возможно с использованием операции горячей объемной штамповки, то наиболее эффективным является технологический процесс высокотемпературной термомеханической обработкой с мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ) который позволяет обеспечить высокую прочность, ударную вязкость и трещиностойкость получаемых поковок.

### ***Благодарности***

Работа выполнена в рамках проекта НИР (номер государственной регистрации 121052600390-5).

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Тимофеев Н.Г., Скрыбин Р.М. Буровой снаряд для бурения скважин большого диаметра // Ползуновский альманах №4/2. – 2011. – С.84-86
2. Харламов Ю.П. Состояние и перспективы сооружения свайный фундаментов при обустройстве нефтегазовых месторождений в Южной Якутии //Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды : тр. конф. с участием иностр. ученых (7-11 июля 2008 г., Новосибирск). Т. 2. : Машиноведение. – Новосибирск : ИГД СО РАН, – 2009. – С. 58 – 61
3. Беляев Н.А. Пневмоударные расширители скважин. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, – 1987. – 133 с
4. Медведев И.Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин. Москва. Недра. 1968.
5. Патент. РФ № 2090730. Погружной пневматический ударный механизм / С.Е. Алексеев // Опубл. в БИ – 1997. – № 26.
6. Репин А.А., Смоляницкий Б.Н., Алексеев С.Е., Попелюх А.И., Тимонин В.В., Карпов В.Н. Погружные пневмоударники высокого давления для открытых горных работ.//ФТПРПИ. – 2014. – № 5. – С.157-167
7. Репин А.А., Алексеев С.Е. Создание пневмоударников для работы на повышенном давлении энергоносителя // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Т. III. Машиноведение. – Новосибирск: ИГД СО РАН.– 2010. –С.61-70.
8. Тимонин В.В., Алексеев С.Е., Кокоулин Д.И. Испытания импортозамещающих погружных пневмоударников высокого давления // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2019. – Т 2. – № 5. – С. 57-66.
9. Шахторин И.О. Доводка машин ударного действия при помощи современного программного обеспечения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т.4. – № 1. – С. 72-77.
10. Ощепков В.С. Компьютерное моделирование рабочего процесса погружного пневмоударника П-110 // ГИАБ. Москва 2018. № 7. С. 131-138.

11. Репин А. А., Алексеев С. Е., Попелюх А. И. Методы повышения надежности деталей ударных машин // ФТПРПИ. – №4. – 2012. – С. 94-101.
12. Попелюх П. А., Никулина А.А., Попелюх. А. И. Влияние внешней среды на показатели надежности деталей горных машин, работающих в условиях динамического сжатия // Научный вестник НГТУ. – 2013. – № 4(53). – С 214-229.
13. Попелюх П. А., Попелюх А. И., Юркевич М. Р. Комбинированная термомеханическая обработка стали с мартенсито-бейнитным превращением аустенита // Обработка металлов. – 2013. – №2.
14. Патент РФ №2647716 Погружной пневмоударник. / Тимонин В.В., Алексеев С.Е., Кокоулин Д.И., Заболоцкая Н.Н. //Опубл. В БИ – 2018 - № 8
15. Алексеев С.Е., Данилов Б.Б., Чешин Д.О., Кубанычбек Б. Система воздухораспределения погружного пневмоударника с разрядным клапаном для использования в роботизированных буровых системах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2024. – Т.11. – № 1.– С. 42-47. DOI: 10.15372/FPVGN2024110107

© С. Е. Алексеев, Б. Кубанычбек, 2026