

2. Жесткость поджимной пружины мало влияет остальные параметры гидроимпульсного механизма, т.к.  $c \propto \frac{S_{ГЦ}^2}{C_V}$ .

3. Наибольшее влияние на требуемую величину активной массы механизма оказывает коэффициент объемной упругости РВД.

4. Изменяя величину активной массы и коэффициента объемной упругости РВД можно подобрать параметры гидроимпульсного механизма так, чтобы он работал в режиме близком к резонансному при заданной частоте силовых импульсов.

#### Литература

1. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин / Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 4 (20). – С. 32–36.
2. Пашков Е. Н., Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 5 – С. 26-31.
3. Pashkov E. N. , Ziyakaev G. R. , Tsygankova M. V. Differential equations of processes for the hydropuls power mechanism of drill machines // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 91-94 [6765-2013].
4. Патент на ПМ 133152 РФ. МПК7 E02D 7/10. Гидроимпульсная сваебойная машина / Е. Н. Пашков, Г. Р. Зиякаев, П. Г. Юровский, А. В. Пономарев. Оpubл. 10.10.2013 г.

### **ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОНСТРУКЦИИ ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТОРНОГО СНАРЯДА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ИНТЕРВАЛАХ ТВЕРДЫХ И КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

**А.В. Ковалев, Е.Д. Исаев**

Научный руководитель профессор С.Я. Рябчиков  
*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, Россия*

Шароструйный способ бурения скважин реализуется с помощью шароструйно-эжекторных буровых снарядов (ШЭБС), осуществляющих непрерывную циркуляцию шаров в призабойной зоне. Способ был предложен в 1955 г. группой ученых американской нефтяной компании

«Картер Ойл К°». В исходной концепции данный способ предполагал следующие преимущества по сравнению с роторным бурением [9]:

- значительная продолжительность рейса, которая будет ограничиваться лишь износостойкостью шароструйного аппарата, т.к. в процессе бурения возможна замена износившихся шаров новыми;

- простота конструкции бурового снаряда;
- отсутствие необходимости в создании осевых нагрузок на долото;

- возможность бурения без вращения, что позволит уменьшить износ бурильных труб, использовать легкосплавные бурильные трубы.

Американские исследователи для проведения полевых испытаний использовали названный ими «гравитационно-инжекционный» буровой снаряд (рис. 1). В конструкции снаряда было предусмотрено использование специальных лап 7, контактирующих с забоем скважины для поддержания оптимального расстояния между долотом и забоем, не разрушая его. Важной особенностью данного снаряда является образование «облака резервных шаров» 8 на уровне сопла 2.

К недостаткам данной конструкции следует отнести:

- повышенный износ лап за счет контакта с горными породами и ударов циркулирующих шаров;

- необходимость во вращении бурового снаряда для разрушения зон забоя, перекрываемых лапами;

- перекрытие лапами значительной площади забоя, в связи с чем уменьшается эффективность шароструйного бурения;

- необходимость поддержания строго заданного расхода жидкости, т.к. при его уменьшении «облако резервных шаров» будет располагаться ниже сопла, а при повышении расхода жидкости – выше,

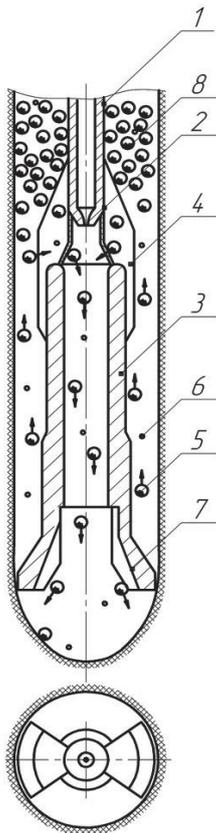
что приведет к снижению расхода шаров в камере смешения, следовательно, уменьшению эффективности шароструйного бурения.

Вышеперечисленные недостатки конструкции «гравитационно-инжекционного» бурового снаряда, а также отход от первоначальной концепции шароструйного бурения предопределили дальнейшие работы исследователей и производителей. К настоящему времени разработано множество различных конструкций шароструйно-эжекторных буровых снарядов [4], обеспечивающих:

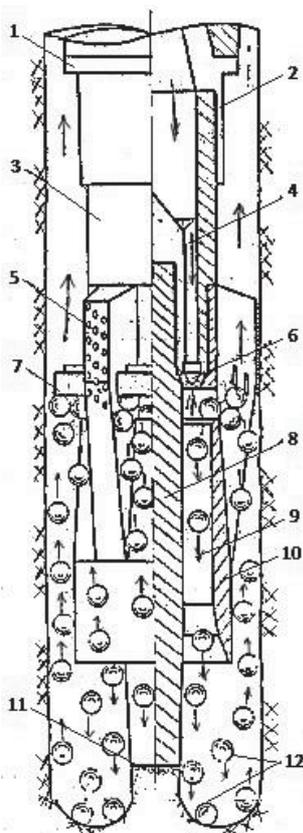
- поддержание требуемого диаметра скважины;
- поддержание оптимального расстояния между долотом и забоем;
- оптимальную траекторию движения шаров в призабойной зоне скважины.

Выбор и обоснование конструкции ШЭБС для бурения в твердых и крепких горных породах является важной исследовательской задачей.

Заурбековым С.А. в работе [2] указывается на малый расход шаров в камере смешения (не более 140 ш/с), осуществляемый струйным аппаратом с соплом и камерой смешения цилиндрической формы с их последовательным осевым расположением. В связи с этим был предложен снаряд с соплом 6 и камерой смешения 9 кольцевой формы, при этом центральная часть забоя скважины разрушается с помощью опоры 8, заканчивающейся твердосплавными зубками 11 (рис. 2). Такая конструкция обеспечивает поддержание оптимального расстояния между долотом и забоем в процессе бурения, использование задерживающего устройства 8 позволяет снять ограничения на максимальный расход промывочной жидкости, а также направлять шары во впускные окна.



**Рис. 1 «Гравитационно-инжекционный» буровой  
 снаряд [9]: 1 – колонна бурильных труб; 2 –  
 сопло; 3 – камера смешения; 4 – ребра; 5 –  
 породоразрушающие шары; 6 – шлам выбуренной  
 породы; 7 – лапы; 8 – «облако резервных шаров»**



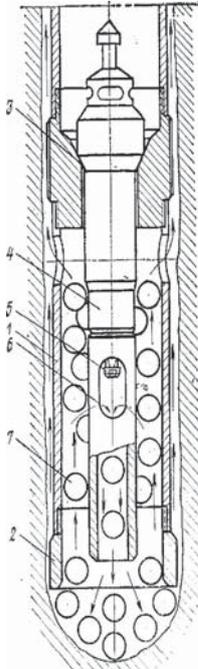
**Рис. 2 Шароструйно-эжекторный буровой  
 снаряд с соплом и камерой смешения кольцевой  
 формы (по Заурбекову С.А.):**  
 1 – калибратор; 2 – переводник; 3 –  
 присоединительная головка; 4 – подводящие  
 жидкость каналы; 5 – калибрующе-  
 центрирующие ребра; 6 – кольцевое сопло; 7 –  
 задерживающее устройство; 8 – опора снаряда;  
 9 – кольцевая камера смешения; 10 – корпус  
 снаряда; 11 – твердосплавные зубки; 12 – шары

Однако данная конструкция обладает рядом недостатков:

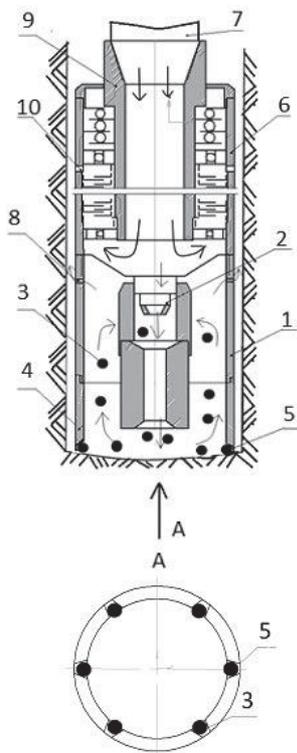
- наличие сопла щелевидной формы усложняет изготовление бурового снаряда;
- наличие опоры, разрушающей центральную часть забоя скважины, приводит к быстрому ее износу, особенно при бурении твердых и крепких горных пород;
- для работы снаряда необходимы вращение и осевая нагрузка на долото, что противоречит первоначальной концепции шароструйного бурения и усложняет процесс бурения;
- разрушение забоя комбинированным способом (периферийной части – шароструйным, центральной – вращательным) приводит к разной скорости разрушения, т.е. к сложности управления за процессом бурения;
- конструкция снаряда предусматривает использование шаров с меньшим максимально возможным диаметром, чем при использовании сопла и камеры смешения цилиндрической формы, в связи с чем согласно [2, 6–8] уменьшается эффективность шароструйного бурения;
- большое отношение диаметра используемых шаров к диаметру камеры смешения (принимается равным 0,8) приводит к необходимости увеличения расстояния между долотом и забоем для поддержания требуемого диаметра скважины, в связи с чем согласно [2, 6–8] уменьшается эффективность шароструйного бурения.

Ряд авторов [1, 5] считает эффективной конструкцию ШЭБС, в основе которой лежит струйный аппарат с соплом и камерой смешения цилиндрической формы с их последовательным осевым расположением, периферийная часть при этом разрушается механическим вооружением лопастного (рис. 3) и дробового (рис. 4) типов. Однако данные конструкции имеют недостатки, связанные с комбинированным

разрушением забоя скважины: износ механического вооружения  
 снаряда, необходимость во вращении и осевой нагрузке, сложность  
 управления за процессом бурения.



**Рис. 3. Шароструйно-эжекторный буровой  
 снаряд с механическим вооружением лопастного  
 типа: 1 – корпус; 2 – породоразрушающий  
 опорный башмак; 3 – гнездо; 4 – струйный  
 аппарат; 5 – сопло; 6 – камера смешения с  
 окнами; 7 – шары; 8 – головка**



**Рис. 4. Шароструйно-эжекторный буровой  
 снаряд с механическим вооружением дробового  
 типа: 1 – корпус; 2 – струйный аппарат; 3 –  
 породоразрушающие шары; 4 –  
 породоразрушающее кольцо; 5 – посадочные  
 гнезда; 6 – турбинный аппарат; 7 – колонна  
 бурильных труб; 10 – отверстия**

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что проанализированные конструкции ШЭБС эффективны лишь для бурения в интервалах мягких и средних по крепости горных пород. При проектировании конструкции ШЭБС для бурения в интервалах твердых и крепких горных пород необходимо учитывать следующие требования:

- не должно быть постоянного контакта бурового снаряда с забоем скважины, т.е. буровые снаряды с лапами, опорой и опорным башмаком являются нерациональными;

- необходимо избегать вращения бурового снаряда, а также создание осевой нагрузки, т.к. это противоречит первоначальной концепции шароструйного бурения и усложняет процесс бурения;

- в основе должен лежать струйный аппарат с соплом и камерой смешения цилиндрической формы с их последовательным осевым расположением;

- камера смешения бурового снаряда должна оканчиваться диффузором, использование которого позволит шарам более интенсивно разрушать периферийную часть забоя скважины, тем самым можно поддерживать минимальное значение расстояния между долотом и забоем, что увеличит эффективность шароструйного бурения;

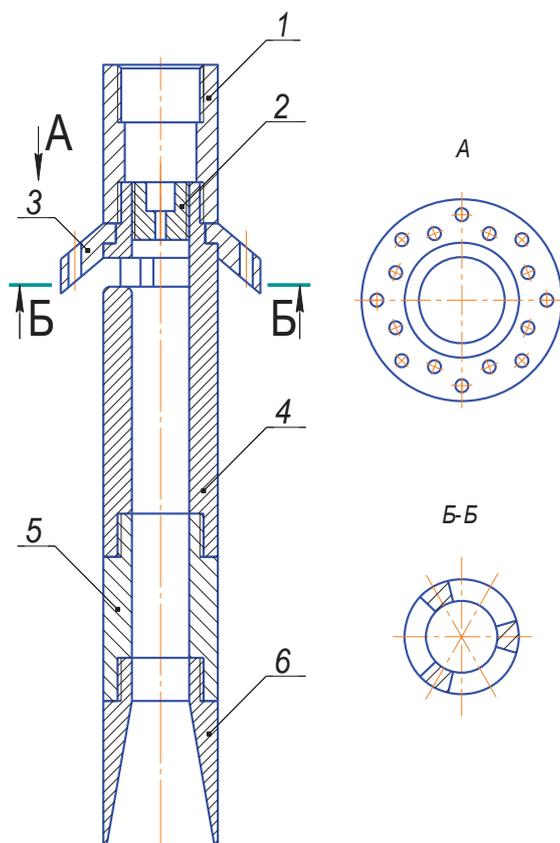
- необходимо использовать задерживающее устройство, позволяющее снять ограничения на расход промывочной жидкости, значение которого будет высоким для оптимального разрушения твердых и крепких горных пород;

- в процессе бурения необходимо осуществлять контроль над поддержанием оптимального расстояния между долотом и забоем и требуемого диаметра скважины;

- в конструкции бурового снаряда должна быть предусмотрена возможность замены изношенных шаров новыми в процессе рейса;

• конструкция бурового снаряда должна отличаться простотой устройства и эксплуатации. В этом случае техническое решение оказывается технологически и экономически оправданным [3].

Исходя из вышеперечисленных требований был спроектирован экспериментальный стенд для исследования ШЭБС с отражением сформулированных выше требований. Экспериментальные исследования, выполненные на экспериментальном стенде, позволили выявить рациональные геометрические и технологические параметры для предложенного нами бурового снаряда, который представлен на рис. 5.



**Рис.5 Шароструйно-эжекторный буровой снаряд:**  
 1 – переходник на нагнетательную магистраль; 2 – сопло;  
 3 – задерживающее устройство; 4 – камера всасывания;  
 5 – камера смешения; 6 – диффузор

## Литература

1. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография / М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 110 с.
2. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.
3. Кардыш В.Г., Мурзаков Б.В., Усков Ю.Б. Оценка потенциальных возможностей прогрессивных методов бурения // Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства. – М.: ВИЭМС, 1985. – 28 с.
4. Ковалев А.В., Якушев Д.А. Анализ технических средств для шароструйного бурения с целью выбора перспективных направлений для проведения опытно-конструкторских работ // Проблемы геологии и освоения недр: труды Восемнадцатого международного симпозиума им. М. А. Усова. – Томск: Изд. ТПУ, 2009. – Т. 2. – С. 412–414.
5. Патент № 417599, Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / А.Б. Уваков, В.В. Штрассер – № 1451266; Заявлено 15.06.1970; Оpubл. 28.02.1974.
6. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
7. Штрассер В.В. Исследование процессов разрушения горных пород ударами шаров (к теории шароструйного бурения): дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1966. – 217 с.
8. Eckel I.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. Development and testing of jet pump pellet impact drill bits // Transaction AIME. – Dallas, 1956. – Vol. 207. – p. 15.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА  
ШАРОСТРУЙНОГО БУРЕНИЯ****Е.Д.Исаев, А.В. Ковалев, Ф.Р. Алиев**

Руководитель профессор Рябчиков С.Я.

***Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, Россия***

В настоящее время на кафедре бурения скважин Томского политехнического университета активно ведутся работы по разработке и исследованию шароструйного способа бурения. Данный способ, потенциально, может дать значительный прирост скорости бурения в интервалах твердых и крепких горных пород, сократить время на проведение спуско-подъемных операций, что приведет к снижению денежных затрат на сооружение скважины. Кроме того, шароструйный