

## **НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ МЕХАНО-ГИДРОИМПУЛЬСНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Буктуков Николай Садвакасович, д.т.н., профессор, Институт горного дела, Казахстан, пр. Абая 208, e-mail: n.buktukov@mail.ru*

*Гуменников Евгений Степанович - старший научный сотрудник, Институт горного дела, пр. Абая 208, e-mail: e.gumennikov@mail.ru*

*Асанов Арстанбек Авлезович, д.т.н., профессор, КГУСТА им. Н. Исанова, Кыргызстан, 720023, г. Бишкек ул. Малдыбаева 34 «б», e-mail: Asanov52@mail.ru*

**Аннотация.** Бурение основано на электроразрядном пробое слабого электролита (слабо минерализованной воды) в тонких зазорах между развитыми металлическими поверхностями. В результате за 2-3 секунды в замкнутой полости генерируется высокое гидростатическое давление некоторого объема воды, которая через расходное сопло, перекрываемое запорным клапаном специальной конструкции, при заданном давлении выбрасывается на разрушаемый объект со сверхзвуковой скоростью.

Рассматривается вариант развития механо-гидроимпульсный способ бурения скважин различного назначения и протяженности безвращательным способом с малоизнашиваемым механизмом разрушения. Представляется возможным способ бесконтактного разрушения

крепких пород с чисто гидроимпульсным разрушением скважинного забоя на чистой промывочной воде с мощной аэрацией в головной части буровой колонны.

**Ключевые слова:** бурение, порода, гидроимпульсатор, гидроимпульсное бурение, комплекс, скважина, бурильная головка.

## **NEW TECHNOLOGY FOR DRILLING DEEP WELLS BASED ON MECHANO-HYDROIMPULSE DESTRUCTION OF MOUNTAIN BREEDS**

*Buktukov Nikolay Sadvakasovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Mining them, Kazakhstan, Abay ave. 208, e-mail: n.buktukov@mail.ru*

*Gumennikov Evgeny Stepanovich - Senior Researcher, Institute of Mining. Д. Kunaev, e-mail: e.gumennikov@mail.ru*

*Asanov Arstanbek Avlezovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, KSUTA them. N. Isanova, Kyrgyzstan, 720024, Bishkek, ul. Maldybaeva 34 "b", e-mail: Asanov52@mail.ru*

**Annotation.** Drilling is based on the electrical discharge breakdown of a weak electrolyte (weakly mineralized water) in thin gaps between the developed metal surfaces. As a result, in 2-3 seconds a high hydrostatic pressure of a certain volume of water is generated in a closed cavity, which is thrown through a discharge nozzle, blocked by a special design valve, at a given pressure, onto a destructible object at supersonic speed. It is possible to use a method of contactless destruction of hard rock with a purely hydro-impulse destruction of a well bottom hole on clean wash water with powerful aeration at the head of the drill string.

The development option of the mechano-hydropulse method of drilling wells for various purposes and length in a non-rotating method with a poorly wearing fracture mechanism is considered. It is possible to use a method of contactless destruction of hard rock with a purely hydro-impulse destruction of a well bottom hole on clean wash water with powerful aeration at the head of the drill string.

**Key words:** drilling, rock, water pulse, water pulse drilling, complex, well, drilling head.

## **ТОО ТЕКТЕРДИ МЕХАНО-ГИДРОИМПУЛЬСТУУ ТАЛКОЛООНУН НЕГИЗИНДЕ ЖАНЫ ТЕРЕН КУДУКТАРДЫ БУРГУЛОО ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

**Введение.** Современная практика бурения глубоких скважин характеризуется следующими показателями [1]:

- высокая энергоёмкость процесса чистого бурения, где удельный расход энергии на разрушение 1 см<sup>3</sup> породы с крепостью по шкале проф. Протоdjeяконова  $f = 12 - 16$  составляет от 260 до 570 Дж/см<sup>3</sup>;

- высокие энергозатраты в процессе вращения буровой колонны на трение буровой колонны. Согласно практическим данным суммарный удельный расход энергии на разрушение 1 см<sup>3</sup> породы с учётом трения колонны на каждые 100 погонных м составляет от 2450 до 5540 Дж;

- самые высокие удельные энергозатраты шарошечной буровой установки при отклонении буровой колонны для подсечения, например, нефтеносной залежи. Для скважин глубиной 2,5–3 км для обеспечения горизонтального бурения буровые приводы имеют мощность в 6000-8000 кВт и более;

- высокий износ инструмента разрушения, приводящий к промежуточным извлечениям и новой сборке буровой колонны, и соответствующее снижение скорости бурения при повышении себестоимости.

Решение вышеуказанных проблем возможно путем:

- создания встроенных забойных буровых снарядов с гидроимпульсным волновым механизмом разрушения горных пород, передаваемым по жидкому столбу в трубной полости буровой колонны, с уменьшением энергозатрат до 15-20 Дж на 1 см<sup>3</sup> разрушаемой породы;
- перехода на невращательное бурение без специального осевого нагружения буровой колонны и с возможностью проходки скважин с непрерывно надвигающейся обсадной колонной.

**Изложение основного материала.** Существующая технология бурения, например, нефтегазовых скважин предопределяет наличие главного привода, буровой вышки, основание, оборудование для спускоподъёмных операций, буровые насосы, противовыбросное оборудование.

В качестве основных силовых установок используются двигатели внутреннего сгорания в сочетании с электрогенераторами. Исполнительные приводы в буровых установках для неглубокого бурения используют два двигателя, для глубокого бурения (более 1500 м) применяются мощные буровые установки с тремя-четырьмя двигателями с общей мощностью, превышающей 2.2 МВт. Суммарно затрачиваемая буровой установкой глубокого бурения удельная энергия, отнесённая на разрушение породы штыревыми долотами со всеми потерями в буровой колонне, достигает значений, приведенных выше. При этом на чистое разрушение породы в забое имеет удельную энергоёмкость на порядок ниже.

Основными недостатками существующей технологии сооружения глубоких скважин с роторным бурением и ступенчатой конструкцией обсадной колонны является завышенные физические объёмы разрушаемой породы при высокой энергоёмкости процесса. Имеет место низкая рейсовая скорость и низкая величина рейсовой проходки порядка 16 –18 м по породам крепостью выше  $f = 12$  по шкале проф. М.М. Протодыконова. Другими недостатками роторного бурения глубоких скважин является высокая аварийность на буровой колонне за пределами обсадной колонны, а также с буровым инструментом, которые могут «прихватываться» в трещиноватых пластах, при пересечении крупных трещин, а также в сильно дроблённых породах или плывунах.

Кроме того, вращательное бурение глубоких скважин по породам с наклонным напластованием пород, несмотря на применение специальных стабилизаторов, не обеспечивает точность заданного направления. На отклонение буровой колонны влияет фактор её упругого скручивания и фактор неравномерной загрузки шарошечного долота по периметру со стороны разрушаемой породы. В результате образуются дуговые искривления, которые задают сложный режим взаимодействия буровой колонны со стенками скважины с высокими энергопотерями. Вращение буровой колонны в подсечных искривленияхкратно увеличивают энергопотери и аварийность процесса.

Относительно механических средств разрушения горных пород по энергозатратам наиболее эффективным является гидроструйный способ [2, 3, 4]. При этом скорость гидроструи имеет важнейшее значение в эффективности процесса разрушения. При скоростях 1000-1200 м/с и более эффективность способа может превысить взрывной. Ведутся многочисленные работы в поиске технических средств для создания мощных силовых приводов для достижения сверхзвуковых и далее гиперзвуковых скоростей импульсных струй в условиях существующих промышленных стандартов электропитания и экологических ограничений для горнорудной промышленности [5, 6]. В современной технике использование гидроструи в большинстве случаев связано с буровой техникой или с техникой резанья блоков подлочного камня тонкими струями с добавлением в струю абразивных сыпучих материалов. Как этап развития безвзрывного способа разрушения крепких пород интенсивно развивается комбинированные схемы с использованием механического удара в сочетании со струйными средствами [7].

Решающим фактором всех сравниваемых способов является расходуемое количество энергии на объём разрушения, т.е. критерием энергоёмкости разрушения является время

ударного взаимодействия с разрушаемым объектом. Время взаимодействия от 0,003 до 0,008 с характеризует взрывные процессы, являющиеся самыми экономичными по удельным затратам энергии (7-8 Дж/см<sup>3</sup>). Для сравнения: механическое разрушение с малыми скоростями взаимодействия инструмента разрушения с породой, например, буровыми шарошками, удельные затраты энергии составляют 200 - 250 Дж/см<sup>3</sup>, а объём разрушения в единицу времени незначителен.

С учетом вышеизложенного, в результате выполненных исследований Институтом горного дела им. Д.А.Кунаева был разработан новый силовой привод для гидроструйного разрушения самых крепких горных пород, основанный на электроразрядном принципе испарения и перегрева небольшой порции слабого электролита в зажатой среде в герметичном объёме. При этом в цилиндре перегретая паро-плазменная субстанция с некоторым временным энергонакоплением создавала достаточно высокое давление [8, 9, 10].

Новое энергонакопительное устройство способно обеспечить скорость выброса ограниченного объема воды 700-800 м/с и более, при этом по эффекту разрушения это превосходит артиллерийский снаряд-болванку за счёт проникновения высоконапорной воды при резком торможении в естественные и техногенные трещины без расхода энергии на породное переуплотнение. В этом случае для разрушения горных пород требуется энергии до 11 раз меньше, поскольку разрушение происходит на растяжение, а не на сжатие. Решающим фактором всех сравниваемых способов является расходуемое количество энергии на объём разрушения, т.е. критерием энергоёмкости разрушения является время ударного взаимодействия с разрушаемым объектом. Время взаимодействия от 0,003 до 0,008 с характеризует взрывные процессы, являющиеся самыми экономичными по удельным затратам энергии (7-8 Дж/см<sup>3</sup>). Для сравнения: механическое разрушение с малыми скоростями взаимодействия инструмента разрушения с породой, например, буровыми шарошками, удельные затраты энергии составляют 200 - 250 Дж/см<sup>3</sup>, а объём разрушения в единицу времени незначителен.

Проведенные модельные испытания устройства (рис. 1) для бурения газификационных скважин большого сечения в крутопадающих угольных пластах, отличающихся неоднородностью, местными перемятостями и интрузивными породными включениями [11].



Рис. 1. Действующая модель гидроимпульсного бурового снаряда

При этом параметры испытаний были следующие: потенциальная энергия сжатого объёма 56 кДж; полезная механическая энергия выстрела 24 кДж. Результаты испытания показали, что новое энергонакопительное устройство способно обеспечить скорость выброса ограниченного объема воды 700-800 м/с и более. При этом, по эффекту разрушения это

превосходит артиллерийский снаряд-болванку, за счёт проникновения высоконапорной воды при резком торможении в естественные и техногенные трещины без расхода энергии на породное переуплотнение. В этом случае для разрушения горных пород требуется энергии до 11 раз меньше, поскольку разрушение происходит на растяжение, а не на сжатие.

В продолжение ранее выполненных работ, рассматривая весь процесс сооружения глубокой скважины в плане снижения аварийности, в том числе от выбросных явлений, разработана новая технологическая схема на основе гидроимпульсного бурения в сочетании с гидроструйным и ударномеханическим воздействием на разрушаемую породу с непрерывным надвигом обсадной колонны на забой скважины в значительной по величине толщине проблемных пород. При этом конструкция скважины может быть значительно упрощена, например, до двухступенчатого сечения.

Разрабатываемая технология бурения вышеуказанным комбинированным способом для тех же горно-геологических условий будет иметь энергоёмкость на порядок ниже. В качестве конкретного примера представлена гидромеханическая схема проходки скважины, которая включает в себя внешне расположенный гидроимпульсный привод, связанный герметично с помощью специальной съёмных креплений с каждым вновь наращиваемым звеном неповоротной бурильной колонны и одновременно с обсадной колонной (Рис. 2)

Технической задачей здесь является периодическая подача высокоэнергичной импульсной струи буровой жидкости в буровой трубопровод и последующее использования ударной волны забойным буровым снарядом в забое сооружаемой скважины.

Устройство механогидравлического привода включает в себя трубчатый корпус 1, с жёстко закрепленным оголовком 2. Внутри корпуса 1 помещён массивный ударник 3 с ударной головкой 4, а в оголовке 2 в её цилиндрической полости 5 размещается плунжер 6 с ударной пятой 7. Между торцевым кольцом оголовка 2 и пятой 7 помещена всасывающая пружина 8. В нижней части оголовка 2 смонтирован в осевом канале обратный напорный клапан 9, а далее тело оголовка ниже клапана 9 переходит в крепёжное устройство 10 с верхней трубой бурового става (не показан), например в трубную коническую резьбу. Полость 5 снабжена всасывающим клапаном 12, связывающим её с ёмкостью для жидкости (не показана) патрубком 13.

Граничные участки полости корпуса 1 соединены патрубками 14 и 15 с газораспределительным устройством 16, который включает в себя два поршня 17, жёстко связанные общим штоком 18. Поршни выполнены в виде стаканов, обращённых рёбрами в противоположные стороны, при этом в стенках стаканов-поршней выполнены выхлопные отверстия 19. Шток 18 имеет продолжение 21 в одном из направлений, на котором крепится проушина 21, соединённая с кулисным механизмом 22. Полость газораспределителя между поршнями 17 соединена с источником нагнетания энергоносителя (не показан) патрубком 23.

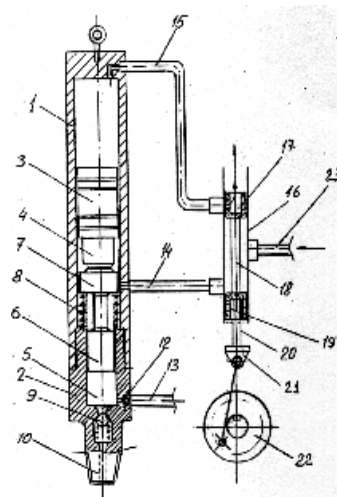


Рис. 2. Принципиальная схема гидроимпульсатора

При вращении кривошипного вала кулисного механизма 22 с задающей скоростью поршни 17 попеременно включают и выключают подачу объёмного энергоносителя (перегретого водяного пара высокого давления) в обеих сторонах полости относительно ударника 3, при этом отключённая полость соединяется с выхлопом через отверстия 19 в атмосферу.

При подаче энергоносителя снизу ударника плунжер 6 силой пружины 8 поднимается вверх и производит всасывание жидкости через патрубок 13. Обратное переключение патрубков 14 и 15 меняет направление движения ударника 3, производится ударное перемещение плунжера 6 с производством импульсного нагнетания жидкости через обратный клапан 9 внутрь бурового става (не показан). Для бурения глубоких скважин устройство пульсатора использует ударные волны пиковой нагрузки на буровой инструмент столб жидкости или бурового раствора внутри буровой колонны.

Мощность одиночного импульса в зависимости от крепости буримых пород и глубины скважины варьируется от 150 до 250 кДж с импульсным давлением во фронте волны 60 - 70 МПа, проходящей в полости трубы буровой колонны. Максимальная скорость перемещения жидкого столба зависит от его инерционности с одной стороны и мощности импульсатора с другой.

Механизм пульсации, выполненный в виде массивного поршня, размещённого внутри трубчатого корпуса и работающий по принципу трубчатого дизель-молота, может использовать в качестве энергоносителя как дизельное топливо (для скважин средней глубины), так и электрический разряд в слабом электролите (для глубоких скважин). Частота ударов контролируется надпоршневым воздушным амортизатором, образуемым при движении массивного ударного поршня вверх в герметичном трубчатом корпусе. Для увеличения частоты и мощности удара в верхней точке подъёма поршня может инжектироваться дополнительный объём энергоносителя.

Поршневая система импульсатора позволяет одновременно с механическим ударом в цилиндрическую камеру постоянного водозаполнения ударно воспроизводить значительный объём сжатого воздуха в смеси с продуктами электроразряда, причём с весьма высоким давлением. Этот сжатый объём доставляется в забой скважины по специальному трубопроводу, проложенному внутри бурового става. Сжатая смесь служит для выдачи бурового шлама методом интенсивной аэрации, что позволит отказаться от тяжёлых буровых растворов и одновременно обеспечивает работу гидроимпульсной буровой головки на чистой воде.

Буровая головка состоит из поршневой неповоротной части и поворотной консольной части, армированной долотчатыми резцами, при этом поворотная часть имеет приёмно-отражательную пульсационную камеру с рядом тангенциальных и продольно-осевых тонких каналов. Кроме того, головка содержит несколько каналов для сжатого газа.

Вся бурильная колонна размещается внутри обсадной колонны непосредственно до самого забоя скважины. При этом забойный конец обсадной трубы оканчивается режущим башмаком. Поршневая часть гидроимпульсной бурильной головки притёрта в конце обсадной колонны перед режущим башмаком, а поворотная часть головки может опережать режущий башмак на 200 - 300 мм. Причём опережение сохраняется только до момента ослабления подрезами породного стакана под режущим башмаком тангенциальными импульсными струями, после чего массивная обсадная колонна, нагружаемая, кроме того, мощными силовыми импульсами от гидроимпульсного привода на поверхности, разрушает остатки породного стакана и перемещается к груди забоя скважины.

Возникающее избыточное давление промывочной воды и сжатого газа на контакте разрушения буровой головкой может создавать большую подъёмную силу, действующую на буровой инструмент. Эта сила может в несколько раз превышать его массу. При обратном движении бурового става производится дополнительное раздавливание буровой мелочи, полученной перед этим от гидравлического импульса.

Создание условия надвига обсадной колонны вслед за забоем скважины представляют возможность упростить противовыбросные механизмы, используемые на шарошечном бурении, поскольку исключает боковые газожидкостные прорывы и повышает надёжность защиты от забойного прорыва, используя в качестве опорного элемента торец обсадной колонны.

Ударный поршень массой 750,0 кг ( $D = 252$  мм,  $H = 1890$  мм) разгоняется за счёт объёмного привода с энергией 500 кДж в трубчатом корпусе до скорости 36,9 м/с. Расстояние разгона 3000 мм. В качестве привода может использоваться электроразрядное устройство в воде с накопителем перегретого пара, связанное каналом с верхней частью трубчатого корпуса [8, 9, 10].

Подпоршневая полость трубчатого корпуса связана с воздушным компрессором с давлением 0,2-0,3 МПа, работающим на восполнение утечек.

Ударный поршень наносит рабочий удар через воздушную подушку в нижней части трубчатого корпуса, которая заполняется промывочным раствором на высоту 500 –700 мм насосной установкой.

В нижней части трубчатый корпус имеет конфузурное сопло  $D = 80$  мм, снабжённое обратным шаровым клапаном, подпружиненный с усилием 500 - 600 кгс. С соплом свинчивается верхний конец буровой неповоротной колонны. При этом верхняя часть буровой колонны жёстко навешивается и закрепляется на верхнем конце обсадной колонны с тем, чтобы движение вниз при бурении скважины осуществлялось совместно.

Путь торможения массивного поршня определяет развиваемое ударное давление в цилиндрическом патрубке, которое может достигать 50 МПа и более. Это давление преобразуется в расходном сопле и далее в буровой колонне в скоростной поток.

При этом преобразующийся скоростной поток в статическое давление в момент инерционного торможения при контакте с инертной массой бурового раствора не превышает некоторой безопасной для трубопровода величины благодаря некоторой сжимаемости воды (в том числе за счет растворенных газов и воздуха). Эта величина сжатия образуется объёмом ударного нагнетания массивным поршнем-ударником при взаимодействии с подпоршневым объёмом бурового раствора, причём обратный клапан не позволяет упруго восстановить в обратном направлении начальную высоту жидкого столба после нанесения рабочего удара.

По истечению немногим более секунды ударная волна сжатия (скорость звука в жидкости плотностью  $1,4$  т/м<sup>3</sup> составляет порядка 2300 м/с) достигнет забойной ударной головки, которая своей поршневой частью перекрывает проходное сечение буровой трубы на расстоянии порядка 0,5 - 1,0 м над забоем. На рис. 3 даётся общая схема взаимодействия привода-пульсатора и забойного бурового инструмента комплекса.

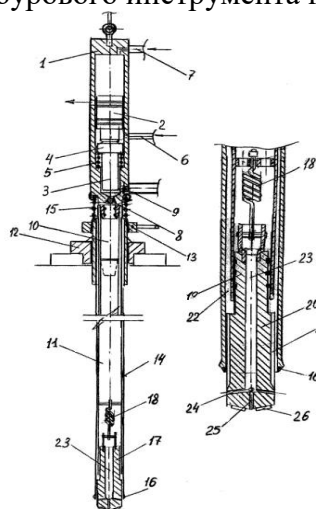


Рис. 3. Буровой комплекс:

1 – корпус гидроимпульсного нагнетателя; 2 – поршень-ударник нагнетателя; 3 – плунжер нагнетателя; 4 – ударная головка нагнетателя; 5 – возвратная пружина; 6,7 – патрубки подачи объёмного энергоносителя; 8 – нагнетательный клапан; 9 – всасывающий клапан нагнетателя; 10 – переходная штанга; 11 – буровая колонна; 12 – кондуктор; 13 – стягивающий механизм; 14 – обсадная труба; 15 – жёсткая пружина; 16 – режущий башмак; 17 – буровая головка; 18 – упругая подвеска буровой головки; 19 – поршневая часть буровой головки; 20 – коронкодержательная часть буровой головки; 21 – продольный канал; 22 – межтрубный зазор; 23 – осевой канал; 24 – тангенциальные сопла; 25 – тонкий осевой канал; 26 – рубящие коронки.

Головка разгоняется вниз, вытесняя соответствующий объём бурового раствора, которым интенсивно промывается забой от шлама предыдущего удара.

Производится механический удар по забою скважины и одновременно создаётся гидродинамический удар столба раствора от резкого торможения. Давление торможения будет значительно выше давления ударного импульса на поверхности за счёт резкой остановки. За счёт этого давления производится гидравлический выстрел в забой скважины и его боковые через несколько расходных сопел – врубовых и оконтуривающих.

После соударения поршня с объёмом раствора сжатая воздушная подушка подбрасывает его в верхнюю точку, где производится захват и удержание поршня до запуска новой порции рабочего энергоносителя в надпоршневую зону после подачи новой порции бурового раствора в ударную камеру. При этом уровень раствора в буровой колонне сохраняется обратным клапаном.

**Результаты расчета.** Выполнен расчет основных параметров и технико-экономических показателей комплекса для механогидроимпульсного бурения глубоких скважин при следующих исходных данных:

- глубина скважины - 2500 м;
- скорость ударной волны в буровом растворе - 2100 м/с;
- диаметр труб обсадной колонны 225 мм;
- проходной диаметр обсадной колонны - 200 мм;
- диаметр труб буровой колонны - 100 мм;
- проходной диаметр буровой колонны - 80 мм ( $S_{\text{прох}} = 50,24 \text{ см}^2$ );
- диаметр проходимой скважины - 225 мм ( $S = 397,4 \text{ см}^2$ );
- энергия гидроимпульса привода - 500 кДж (51000 кгм);
- частота гидроимпульсов - 30 имп/мин;
- масса ударного поршня гидроимпульсатора - 750 кг;
- путь торможения ударного поршня – 500 мм;
- площадь сечения ударной камеры – 500 см<sup>2</sup> ( $D_{\text{прох}} = 252 \text{ мм}$ );
- удельный вес бурового раствора - 1,4 г/см<sup>3</sup>.

В результате выполненных расчетов получены численные значения следующих параметров и показателей бурильного комплекса:

Масса бурового раствора в буровой колонне на глубине 2500 м составит  $M = 17580 \text{ кг}$ .

Скорость поршня ударника при соударении с жидкостью составит  $V_{\text{пш}} = 36,9 \text{ м/с}$ .

Развиваемое поршнем ударником усилие  $F_{\text{уд}} = 102000 \text{ кгс}$ ; давление  $P_{\text{уд}} = 204 \text{ кг/см}^2$ .

Время торможения ударного поршня в гидроударной камере на расстоянии 0,5 м будет  $T_{\text{торм}} = 0,5 \times 2 / 36,9 = 0,027 \text{ с}$ .

Скорость потока от вытесненного объёма ударной камеры (в начале буровой колонны)  $V_{\text{п}} = 184,3 \text{ м/с}$ .

Протяженность скважины, заполненная нагнетаемым объёмом, составит 25000 см<sup>3</sup>:

$L = 4,97 \text{ м}$ . Давление торможения ударной волны при взаимодействии нагнетаемого объёма с инертной жидкостью в буровой колонне  $P = 43,2 \text{ кг/см}^2$ .

Отсюда по условиям прочности труб буровой колонны имеется 10-ти кратный запас прочности. Следовательно, имеется возможность наращивания энергетического потенциала



установки в 3 - 4 раза. Объёмом на растяжение металлического трубопровода от действия распорного давления можно пренебречь, поскольку при заданных параметрах этот объём составляет менее 1 дм<sup>3</sup>.

Буровая головка, благодаря упругой подвески внутри утяжелённого участка конца буровой колонны, копирует колебания жидкого столба и при этом совершает мощные удары своими резцами при столкновении с забоем. Согласно принятым энергетическим параметрам, она может быть подвешена, к примеру, на расстоянии от забоя в 1,0 м и разогнаться ударной волной до скорости начального потока в обратной пропорции к массе буровой головки.

Ударное торможение буровой головки и столба жидкости в буровой колонне определяется его кинетической энергией и величиной пути торможения. В рассматриваемом случае путь торможения определяет величина консольного вылета породоразрушающих зубьев плюс путь гидроструйного разрушения с опорой на создаваемое противодействие жидкими струями. Эту величину возможно определить только эмпирическим путём. Задаваясь их длиной конструктивно в 30 мм, плюс предполагаемой величиной гидроструйного разрушения 60 мм, получим величину импульсного гидродинамического давления.

Учитывая гидравлические потери при ударном нагнетании и местные при движении ударной волны по трубопроводу порядка 30 %, работа торможения в забое будет порядка 35700 кгм. Однако следует учитывать, что эти потери не являются в полном смысле потерями энергии привода, поскольку буровая колонна жёстко связана с обсадной колонной, а обсадная колонна опирается своей массой на забой посредством режущего кольцевого башмака. По этой причине все потери складываются на этом инструменте разрушения и дополнительно обеспечивают оконтуривание забоя скважины по внешнему диаметру лезвия башмака.

Сила соударения гидропотока с забоем (через буровую головку) составит  $F_{заб} = 396666$  кгс. Время соударения, с учётом энергетических потерь, равна  $t = 0,001$  с (местная скорость приближается к взрывной, следовательно, энергоёмкость разрушения в открытом забое будет порядка 10 Дж/см<sup>3</sup>). При этом гидравлическое давление в полости размещения головки ( $D = 120$  мм,  $S = 113$  см<sup>2</sup>) равно  $P_{заб} = 3500$  кг/см<sup>2</sup>.

Ударное давление, развиваемое предлагаемым бурильным комплексом, создаёт мощные струи, направленные как на забой, так и тангенциально на стенки скважины, которыми производится основной объём разрушения породы. Площадь сечения забоя 397,3 см<sup>2</sup>. Удельную энергию разрушения породы в забое скважины (т.е. при весьма малой площади обнажения забоя), находящимся под высоким гидростатическим давлением бурового раствора, условно принимаем порядка 100 Дж/см<sup>3</sup>, т.е. с 10-ти кратным превышением относительно открытых забоев (удельный расход энергии будет уточняться на опытных работах).

Объём механического разрушения составит:  $W_{мех} = 1200$  см<sup>3</sup>. Затраченная энергия механического разрушения – 120000 Дж (12250 кгм). Соответственно на гидроструйное разрушение будет затрачиваться работа, равной 23450 кгм ( $W_{гс} = 229800$  Дж). Отсюда объём гидроструйного разрушения может составить за ударный цикл  $Q_{гс} = 2298$  см<sup>3</sup>. Суммарный объём разрушения за один ударный цикл будет около 3500 см<sup>3</sup>. Величина уходки за один ударный цикл составит 88 мм. Тогда при частоте ударов 30 уд/мин техническая часовая скорость проходки без учёта вторичного измельчения разрушенной породы составит 158,4 м по породам любой крепости. При этом фактический расход электроэнергии составит не более 350 - 400 кВт·ч.

Для повышения интенсивности удаления бурового шлама нагнетательная установка бурового раствора по рециркуляционной схеме должна иметь производительность порядка 50 – 60 м<sup>3</sup>/ч. На этот поток будет накладываться колебательный процесс. В этом случае скорость проходки глубокой скважины с учётом наращивания трубопроводов и прочих операций можно довести до 150 - 180 м в сутки.

**Выводы.** На основе проведенного анализа конструктивных особенностей бурового комплекса для гидроимпульсной проходки глубоких скважин в горной породе, а также требований к характеристикам струи, предлагается конструкция гидроимпульсного пульсатора буровой установки, реализующей новую технологию бурения скважин. Для конкретной конструкции такой буровой установки проведен расчет кинематических, силовых и энергетических параметров, а также производительности при известных конструктивных параметрах установки.

### **Список литературы**

1. Х. Рабиа, технология бурения нефтяных скважин (пер. с англ.) М. «Недра», 1989.
2. Жалгасулы Н., Битимбаев М.Ж., Гуменников Е.С. Новая безвзрывная технология ведения горных работ// «Известия вузов. Горный журнал», № 2, 2006, С.10-14.
3. Жалгасулы Н., Гуменников Е.С., Битимбаев М.Ж. Создания мощных накопителей импульсной энергии//Труды межд. н.-пр. конф. «Инновационные пути развития нефтегазовой отрасли РК», Алматы, 2007, с. 262-269.44.
4. Жалгасулы Н., Гуменников Е.С. Некоторые аспекты процесса гидроимпульсной технологии разрушения крепких пород//Труды ИГД им. Д.А.Кунаева: «Научно-техническое обеспечение горного производства», т. 83, Алматы, 2013, с. 59-63.
5. Жабин А.Б. Разрушение горных пород импульсными высокоскоростными струями воды / А.Б. Жабин, К.А. Головин, А.В. Поляков // Горное оборудование и электромеханика. – 2006. - № 4. – С. 43 – 46.
6. «Применение водяных струй высокого давления (результаты исследовательских и проектных работ в лабораториях университета Миссури Вола)», Эссен, ФРГ, «Глюкауф», №1, №16, 1980
7. Бреннер В.А. Гидромеханическое разрушение горных пород / В.А. Бреннер, А.Б.Жабин, А.Е. Пушкарев, М.М. Щеголевский. – М.: Изд-во АГН, 2000. – 343 с.
8. Инновационный патент № 15995, «Пушка гидроударная», Бюлл. №7 15.07. 2005. Е.С.Гуменников.
9. Инновационный патент № 15996, «Пушка гидроударная», Бюлл. №7 15.07. 2005. Е.С.Гуменников.
10. Патент КГ №2128, Гидроударное устройство Асанов А.А., Гуменников Е.С. Бюлл. №2, 28.02.2019
11. Асанов А.А., Гуменников Е.С. Развитие объектов теплоэнергетики на основе инновационных технологий подземной переработки угля./Известия КГТУ, № 4(44), Бишкек 2017, с .38 - 45