

УДК 622.24.085

О выборе критерия оптимизации гидроударных буровых снарядов для проходки геологоразведочных скважин на шельфе

Каракозов А. А.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Аннотация

В статье рассмотрен существующий подход к оптимизации гидроударных буровых снарядов для проходки геологоразведочных скважин на шельфе. На основании компьютерного моделирования процесса бурения показано, что обособленная оптимизация гидроударника в общем случае не позволяет достичь максимальной производительности бурения. Предложено в качестве критерия оптимизации гидроударных буровых снарядов использовать механическую скорость бурения как величину, определяющую производительность процесса. Это позволяет оценить комплексное влияние параметров гидроударника и колонкового набора, компоновки бурового снаряда, а также особенностей взаимодействия элементов системы «буровой снаряд – скважина» на производительность бурения.

В последние годы гидроударные буровые снаряды (ГБС) находят всё более широкое применение при бурении геологоразведочных скважин и отборе проб грунтов на морском шельфе. Сейчас они применяются в установках однорейсового бурения типа ПУВБ и УГВП (глубина опробования до 8–10 м), УМБ-130 и УМБ-130М, обеспечивающих при эксплуатации с неспециализированных судов бурение на глубину до 50 м, и при проходке скважин со специализированных буровых судов и платформ [1]. В то же время задачи оптимизации и синтеза гидроударных буровых снарядов были детально разработаны и успешно реализованы на практике только для условий однорейсового бурения [2]. Для условий многорейсового бурения глубоких скважин эти задачи полностью не решены. Поэтому в ряде случаев практического использования конструктивных схем гидроударных снарядов, оптимизированных с точки зрения критериев однорейсового бурения, реальные значения скорости проходки скважин были достаточно низкие, особенно при значительных глубинах отбора керна и сравнительно высокой твёрдости нескальных пород. Поэтому, исходя из практических потребностей, необходимо дальнейшее уточнение задачи оптимизации и синтеза гидроударных буровых снарядов и получение её нового решения.

Рассмотрим суть имеющегося подхода к оптимизации гидроударных буровых снарядов для однорейсового бурения скважин [2]. Она основана на структурной схеме процесса бурения скважины погружными гидроударными буровыми снарядами, представленной на рис. 1. В рассматриваемой системе «снаряд–скважина» задействованы разнообразные факторы, которые можно разделить на две основные группы: технические (конструкция с соответствующими параметрами, кинематика и динамика снаряда) и технологические, являющиеся управляемыми режимными параметрами бурения. Отмеченные факторы различным образом воздействуют на процесс бурения, определяя его выходные параметры: рейсовую проходку (L), механическую скорость ($V_{\text{мех}}$) и выход керна ($ВК$). Однако, учитывая практическую независимость характеристики гидроударника от параметров разрушаемой среды, был сделан вывод, что с практической точки зрения целесообразно ставить вопрос о таком выборе параметров гидроударной машины, который обеспечивал бы наилучшую производительность, что соответствует условию достижения максимальных значений КПД и ударной мощности. При этом считается, что возможность использования ударной мощности в качестве критерия оптимизации основывается на том, что между этим показателем, механической скоростью и рейсовой проходкой существует пропорциональная связь (при описании внедрения снаряда в породу использовалась модель одноударного погружения, упрощённо отражающая характер его движения). Поскольку решалась задача получения керновой пробы максимальной длины, вводилось следующее ограничение: независимо от выходного параметра «механическая скорость бурения», процесс оптимизируется, если выполняются требования по получению заданного выхода керна и обеспечению требуемой рейсовой проходки.

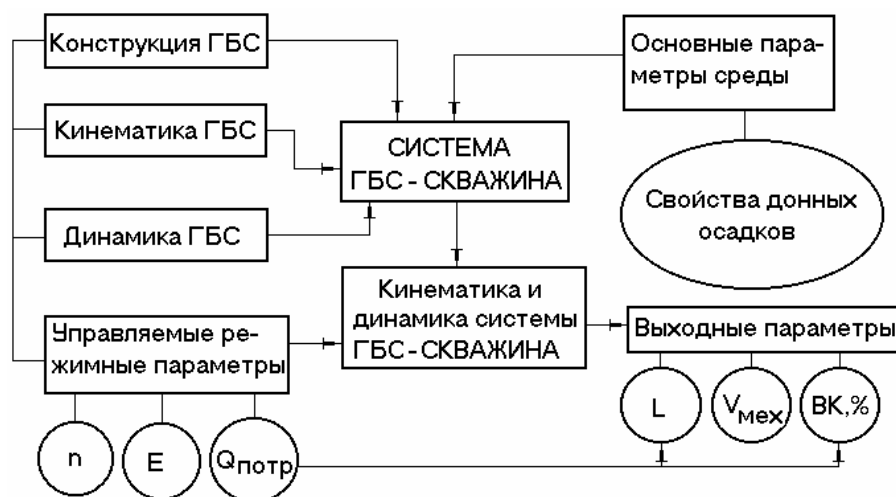


Рис. 1. Структурная схема процесса бурения скважины погружными гидроударными буровыми снарядами (ГБС) [1, 2].

Таким образом, механическая скорость бурения исключается как из критериев, так и из ограничений при оптимизации процесса бурения, которая фактически сводится к выбору оптимальных параметров гидроударника, т.е. к решению задачи нахождения максимумов ударной мощности и КПД с учётом налагаемых ограничений (приводная мощность, рабочее давление, расход жидкости и т.д.). В общем случае эти максимумы не совпадают. Поэтому, в итоге, для оптимизации гидроударника решается задача выбора оптимального значения КПД в зависимости от значений хода бойка, при которых достигается максимум скорости соударения бойка с наковальной, и нахождения условного экстремума эффективной мощности в ограниченном диапазоне расхода жидкости и допускаемого давления в системе [2].

На наш взгляд, этот подход правомерен при постановке задачи достижения максимума углубки за рейс при одноударном погружении снаряда в породу, когда нет подскока снаряда над забоем. В случае бурения скважин гидроударными снарядами исключение механической скорости из критериев и ограничений оптимизации не совсем оправдано по следующим причинам.

Известно, что механическая скорость бурения используется в качестве критерия оптимизации в случаях, когда углубка в рейсе не лимитируется, а стоимость породоразрушающего инструмента незначительна [3]. Это, в принципе, соответствует условиям многорейсового бурения. Во-первых, стоимость породоразрушающего инструмента (башмака) весьма мала, при этом его ресурс позволяет использовать один и тот же башмак при бурении нескольких скважин. Во-вторых, уменьшение длины рейса по сравнению с максимально возможной величиной на 10–15 % (и даже более) может не иметь значения, если рейсовая скорость, определяющая производительность бурения, в этом случае будет выше. При прочих равных условиях именно механическая скорость определяет стоимость и производительность бурения (в том числе и рейсовую скорость). Следует также отметить, что механическая скорость бурения определяет параметры экономических критериев, а также входит в ряд составных критериев оптимизации [3].

Кроме того, в реальных условиях работы мы имеем дело с двухударным погружением гидроударного снаряда в горные породы, поэтому в скважине он двигается не поступательно, а совершает колебательное движение, характер которого зависит как от параметров разрушаемой среды, так и от особенностей взаимодействия элементов системы «буровой снаряд–скважина». Из-за колебательного движения снаряда характер связи между величиной ударной мощности и механической скоростью бурения не очевиден, что противоречит принятому допущению при оптимизации снарядов однорейсового бурения. Поэтому возможен вариант, когда гидроударник, работающий в неоптимальном режиме с точки зрения эксплуатации машины, обеспечивает лучшие показатели бурения с точки зрения производительности. Особенно это касается несимметричного цикла работы гидроударника, когда удар по верхней наковальне ослаблен, то есть при этом мы искусственно понижаем как скорость соударения бойка с наковальной, так и

КПД гидроударной машины для уменьшения подскока снаряда над забоем. Также было установлено, что структурные дополнения к конструкции снаряда или даже простое изменение длины его колонкового набора могут существенно влиять как на характер процесса бурения, так и на механическую скорость бурения, в то время как параметры гидроударника при этом практически не меняются.

На рис. 2–3 показаны примеры выполненного автором компьютерного моделирования погружения в горную породу бурового снаряда установки УМБ-130, иллюстрирующие вышеприведенные утверждения. При моделировании задавался симметричный цикл работы гидроударника (подача жидкости в гидроударник составляет 240 л/мин, максимально допустимое давление 4 МПа). Моделирование выполнено для снаряда с гидроударником массой 165 кг (масса бойка 75 кг) и с двойным колонковым набором $\varnothing 127/108$ длиной 6 м (рис. 2 а–в) и 3 м (рис. 3 а, б) при сопротивлении внедрению 80 кН (на забое – плотные глины). Параметры гидроударника для моделирования определены автором по методике О. И. Калиниченко [2]. Полученные результаты представляют собой виртуальные осциллограммы скорости и перемещения гидроударного бурового снаряда, а также кривую изменения механической скорости бурения (в последнем случае шкала времени увеличена по сравнению с осциллограммами для демонстрации изменения пределов механической скорости бурения).

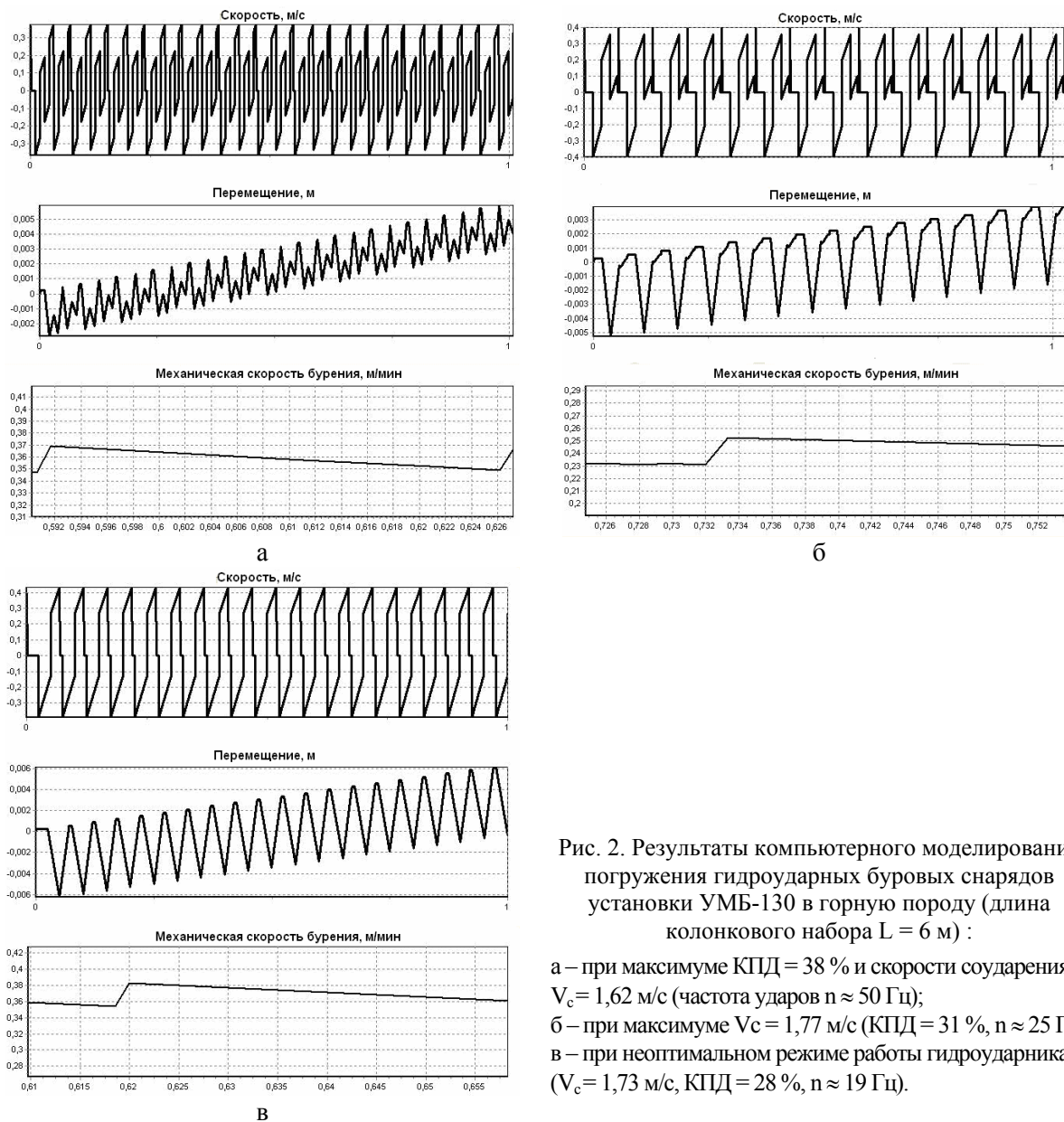


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования погружения гидроударных буровых снарядов установки УМБ-130 в горную породу (длина колонкового набора $L = 6$ м) :

- а – при максимуме КПД = 38 % и скорости соударения $V_c = 1,62$ м/с (частота ударов $n \approx 50$ Гц);
- б – при максимуме $V_c = 1,77$ м/с (КПД = 31 %, $n \approx 25$ Гц);
- в – при неоптимальном режиме работы гидроударника ($V_c = 1,73$ м/с, КПД = 28 %, $n \approx 19$ Гц).

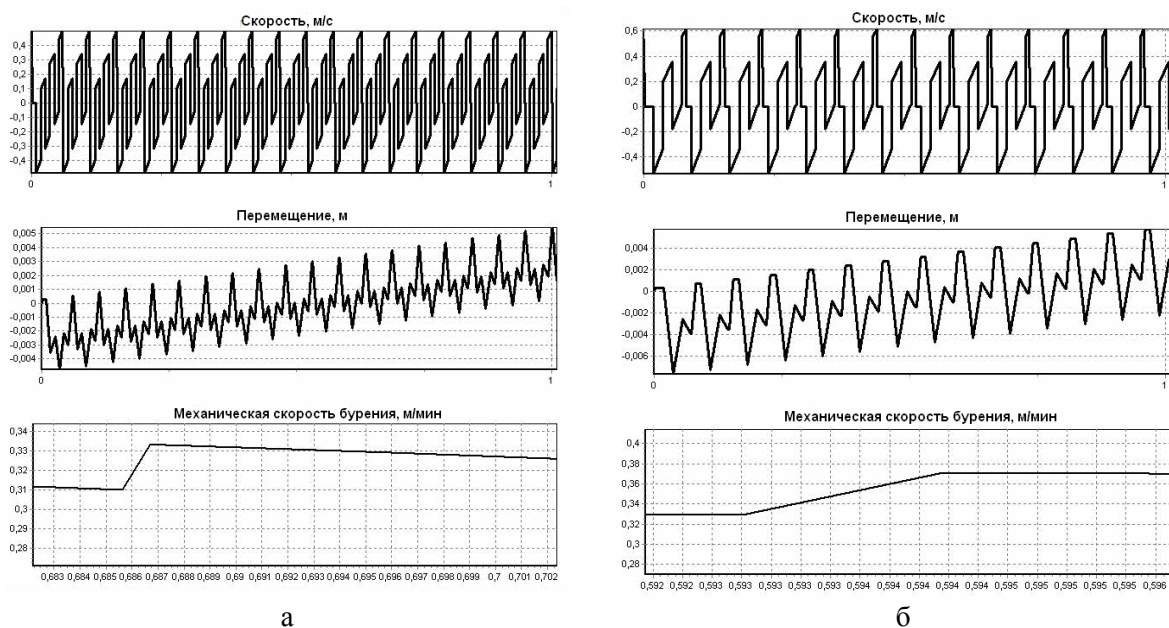


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования погружения гидроударных буровых снарядов установки УМБ-130 в горную породу (длина колонкового набора $L = 3$ м):
 а – при максимуме КПД = 38 % ($V_c = 1,62$ м/с, $n \approx 50$ Гц);
 б – при максимуме $V_c = 1,77$ м/с (КПД = 31 %, $n \approx 25$ Гц).

Анализ результатов компьютерного моделирования процесса погружения гидроударных буровых снарядов в породу позволяет сделать следующие выводы:

1. При неизменных параметрах гидроударника характер погружения бурового снаряда в породу может существенно изменяться (рис. 2 а и 3 а, 2 б и 3 б).
2. Работа гидроударника в режиме с максимальным КПД (рис. 2 а и 3 а) не всегда обеспечивает максимум механической скорости, а, следовательно, и производительности бурения.
3. Работа гидроударника в режиме с максимальной скоростью соударения бойка с наковальной (рис. 2 б и 3 б) также не всегда обеспечивает максимум механической скорости бурения.
4. Гидроударник, работающий в неоптимальном режиме с точки зрения однорейсового бурения, может обеспечивать более высокую механическую скорость бурения (рис. 2 в), особенно по сравнению с режимом достижения максимальной скорости соударения бойка с наковальной (рис. 2 б).
5. Характер погружения бурового снаряда в породу и механическая скорость бурения при прочих равных условиях работы гидроударника и неизменных силах сопротивления внедрению могут изменяться в зависимости от параметров колонкового набора.

Также на основании результатов компьютерного моделирования, выполненного для различных компоновок [4] гидроударного бурового снаряда установки УМБ-130, построены диаграммы изменения механической скорости бурения (V , м/мин) в зависимости от компоновки бурового снаряда, длины колонкового набора и сил сопротивления внедрению (примеры приведены на рис. 4). Моделирование проведено для гидроударника, работающего в режиме достижения максимальной скорости соударения бойка с наковальной (V_c). При этом использовались следующие компоновки снаряда: базовая (ГБС), со статическим утяжелителем массой 100 кг (ГБС+СУ), с динамическим утяжелителем массой 100 кг (ГБС+ДУ), с подвижной наружной трубой колонкового набора (ГБС+ПНТ), с подвижной внутренней трубой колонкового набора (ГБС+ПВТ). Параметры гидроударника для моделирования также определены автором по методике О. И. Калиниченко [2].

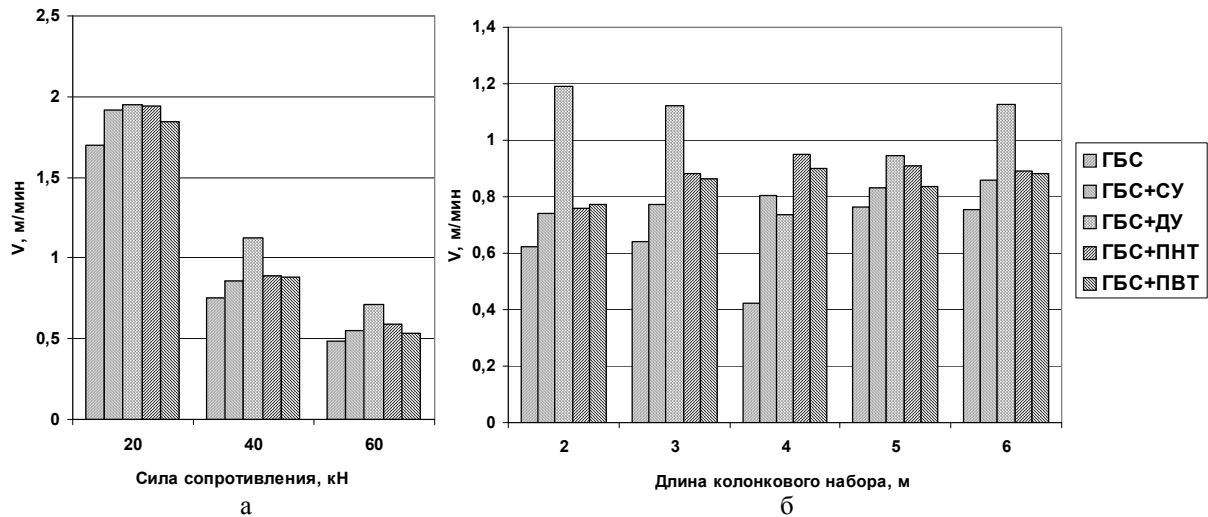


Рис. 4. Изменение механической скорости бурения:

- а – в зависимости от компоновки гидроударного бурового снаряда и сопротивления забоя ($L = 6$ м);
 б – при варьируемых длинах колонковых наборов L для разных компоновок бурового снаряда (при силе сопротивления внедрению 40 кН).

При анализе результатов моделирования для различных компоновок снаряда установки УМБ-130 установлено следующее.

1. Использование любых дополнений к обычной компоновке гидроударного бурового снаряда повышает механическую скорость бурения.
2. Наибольшая механическая скорость бурения для снаряда базовой компоновки достигается при длине колонкового набора 5 м и 6 м. Минимальная скорость – при длине колонкового набора 4 м (уменьшается в 1,7 раза).
3. При использовании статического утяжелителя механическая скорость возрастает с увеличением длины колонкового набора (на 13 % при изменении длины от 2 до 6 м).
4. Максимальный эффект от использования динамического утяжелителя достигается при длине колонкового набора 2 м. Также значительный прирост механической скорости бурения наблюдается при длинах колонковых труб 6 м и 3 м. Минимум прироста – при длине колонкового набора 4 м. Следует отметить, что это единственный случай, когда динамический утяжелитель даёт худший результат по сравнению со всеми остальными компоновками.
5. В то же время при длине колонкового набора 4 м наилучший результат даёт использование подвижных колонковых труб. Во всех остальных случаях их эффективность уступает динамическому утяжелителю, но превосходит эффективность статического утяжелителя.
6. Во всех случаях применение подвижной наружной трубы эффективнее применения подвижной внутренней трубы. Разница в эффективности минимальна при длинах колонковых наборов 6 м, 2 м и 3 м.

Эти результаты показывают, что хотя параметры гидроударника играют важную роль с точки зрения разрушения породы, но без учёта характера движения бурового снаряда в скважине и влияния на этот процесс особенностей его компоновки невозможно достичь максимальной производительности бурения, оптимизируя только гидроударную машину.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

Существующий подход к оптимизации гидроударных буровых снарядов для проходки геологоразведочных скважин на шельфе, фактически сводящийся только к оптимизации гидроударника, имеет ограниченную область применения и может использоваться только при

однорейсовом бурении скважин, предпочтительно при одноударном способе погружения бурового снаряда в породу.

В общем случае в качестве критерия оптимизации гидроударных буровых снарядов следует использовать механическую скорость бурения как величину, определяющую производительность процесса. Этот критерий позволяет оценить комплексное влияние параметров гидроударника и колонкового набора, компоновки бурового снаряда, а также особенностей взаимодействия элементов системы «буровой снаряд–скважина» на эффективность процесса бурения.

Библиографический список

1. Калиниченко, О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский, А. А. Каракозов. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 270 с.
2. Калиниченко, О. И. Развитие научных основ создания погружных гидроударных снарядов и установок для однорейсового бурения скважин на морском шельфе: Дисс. ... докт. техн. наук / Калиниченко Олег Иванович. – Донецк, ДонНТУ, 2002. – 371 с.
3. Башкатов, Д. Н. Оптимизация процессов разведочного бурения / Д. Н. Башкатов, А. М. Коломиец. – М.: РАЕН, ИГЦ ГП «Волгагеология», 1997. – 259 с.
4. Каракозов, А. А. Сравнительная теоретическая оценка влияния применения утяжелителей и колонковых наборов с подвижными трубами на эффективность процесса бурения донных отложений гидроударными буровыми снарядами / А. А. Каракозов // Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк, ДонНТУ, 2006. – Випуск 111. – Т. 2– С. 113–118.

© Каракозов А. А., 2009 г.