



УДК 622.24

РАЗРАБОТКА ГИДРОУДАРНИКОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГАЗОВЫХ И ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН НА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ДОНБАССА



DEVELOPMENT OF HYDRAULIC HAMMER TOOLS FOR DRILLING GAS AND DEGASING WELLS IN COAL DEPOSITS OF DONBASS

Каракозов Артур Аркадьевич

кандидат технических наук, доцент,
Заведующий кафедрой технологии
и техники бурения скважин,
Донецкий национальный
технический университет
artur.a.karakozov@mail.ru

Парфенюк Сергей Николаевич

старший преподаватель кафедры технологии
и техники бурения скважин,
Донецкий национальный
технический университет

Овсянников Владимир Павлович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры охраны труда и аэрологии,
Донецкий национальный
технический университет

Аннотация. Данная статья посвящена вопросам разработки гидроударников для интенсификации роторного бурения газовых и дегазационных скважин для добычи метана на угольных месторождениях Донбасса. Проведенные исследования позволили разработать конструкцию гидроударника, обеспечивающего дополнительное воздействие на забой скважины. Разработанные гидроударники могут использоваться также при бурении сейсмических скважин и скважин на воду.

Ключевые слова: добыча метана, дегазация, роторное бурение, гидроударник.

Karakozov Artur Arkadevich

Ph.D., Associate Professor,
Head of the Department
of Well Drilling Technology and Engineering,
Donetsk National Technical University
artur.a.karakozov@mail.ru

Parfenyuk Sergey Nikolaevich

Senior Lecturer of the Department
of Well Drilling Technology and Engineering,
Donetsk National Technical University

Ovsyannikov Vladimir Pavlovich

Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Labor Protection and Aerology,
Donetsk National Technical University

Annotation. This article is devoted to the development of hydraulic hammer tools for the intensification of rotary drilling of gas and degassing wells for methane extraction from the coal deposits of Donbass. The studies carried out allowed us to develop the design of a hydraulic hammer tools that provides an additional impact on the bottom of the well. Designed hydraulic hammer tools can also be used for drilling seismic or water wells.

Keywords: Methane extraction, degassing, rotary drilling, hydraulic hammer tool.

Мировая практика показывает, что в последние десятилетия при освоении угольных месторождений особое внимание уделяется проблемам добычи метана из угленосных толщ, который в дальнейшем используется для промышленных и бытовых нужд. При этом вопросами добычи метана успешно занимаются страны, имеющие огромные запасы природного газа (Россия, США, Китай), что свидетельствует о конкурентоспособности добычи метана углей. Исходя из этого, имеющиеся проблемы обеспечения Донбасса природным газом определяют актуальность разведки и добычи метана из угленосных отложений.

По предварительным оценкам запасы свободного метана только во вмещающих породах могут составлять более 645 млрд м³. Причём значительные запасы сосредоточены на глубинах до 1500 м. Однако без проведения детальной разведки нельзя оценить промышленную ценность этих залежей метана. Только значительное увеличение объёмов бурения разведочно-эксплуатационных скважин даст возможность дальнейшего изучения газоносности структур и подсчета запасов.

В то же время, увеличению объёма бурения скважин препятствуют относительно низкие технико-экономические показатели буровых работ, обусловленные наличием в разрезе значительных толщ твёрдых и крепких абразивных пород. При этом имеющиеся в наличии буровые установки не всегда позволяют обеспечить оптимальные условия разрушения горных пород на забое.

Для роста технико-экономических показателей буровых работ необходимо существенное повышение механической скорости бурения, особенно в твёрдых и крепких породах (при добыче метана на угольных месторождениях Донбасса – песчаники и известняки VII–IX категорий по буримости). Интенсивность разрушения горных пород может быть повышена за счёт применения наддолотных



гидроударников и вибровозбудителей, как при бурении шарошечными долотами, так и при использовании долот PDC [1, 2, 3, 4]. В этом качестве могут быть использованы модификации конструкций гидроударников двойного действия, разработанных ранее в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) и показавших свою эффективность при бурении скважин на шельфе и ликвидации прихватов [5, 6].

Поэтому был выполнен ряд теоретических и экспериментальных исследований наддолотных гидроударников, которые могут использоваться не только для интенсификации процесса разрушения пород на забое, но и для снижения сил трения бурильной колонны о стенки скважины при бурении наклонных и горизонтальных участков скважин, что обусловлено их эффективностью при проведении аварийных работ по ликвидации прихватов.

Исследования были направлены на разработку более точного метода определения параметров гидроударника, поскольку детальный анализ схемы его работы показывает, что существующий метод расчёта [5] не всегда соответствует реализуемым рабочим циклам. Он не допускает возможной несимметричности рабочего цикла и не учитывает влияния на работу устройства характера перетоков жидкости через элементы гидроударника, динамики клапанной группы и ряда значимых параметров гидравлической системы «насос – бурильная колонна – гидроударник – скважина». Поэтому для обеспечения более достоверного расчёта параметров гидроударника при варьировании технологических и конструктивных факторов в широких пределах необходимо использование новых, более полных, математических моделей.

При разработке математической модели рабочего цикла использовались уравнения неустановившегося течения жидкости [7]. Сложность системы не позволяет получить аналитическое решение, не связанное с разложением функций в бесконечные ряды Фурье, поэтому проще получить численное решение, определяемое на прямоугольной сетке характеристик. Для каждого участка расчётной схемы составляется уравнение, связывающее изменение давления и расхода жидкости на прямой и обратной характеристиках. Неустановившееся движение жидкости на каждом участке трубопровода описывается системой уравнений движения и неразрывности потока:

$$\frac{\partial p_i(x_i, t)}{\partial x_i} + m_i \cdot \frac{\partial Q_i(x_i, t)}{\partial t} + n_i \cdot Q_i(x_i, t) \cdot |Q_i(x_i, t)| + \sin_i \cdot \rho \cdot g = 0$$

$$\frac{\partial p_i(x_i, t)}{\partial t} + m_i \cdot \frac{\partial Q_i(x_i, t)}{\partial x_i} \quad , \quad (1)$$

где $p_i(x_i, t)$ – давление в сечении i -го участка с координатой x_i в момент времени t ; $Q_i(x_i, t)$ – расход в сечении i -го участка с координатой x_i в момент времени t ; $0 \leq x_i \leq L_i$; L_i – длина i -го участка; m_i – коэффициент в формуле Жуковского для определения величины повышения давления при гидравлическом ударе; \sin_i – синус угла наклона i -го участка трубопровода к горизонту; ρ – плотность жидкости; $n_i \cdot Q_i(x_i, t) \cdot |Q_i(x_i, t)| = f(x_i, t)$ – удельные потери давления на i -м участке трубопровода; c – скорость распространения ударной волны; S_i – площадь сечения i -го участка; d_i – его диаметр; λ_i – коэффициент Дарси на i -м участке трубопровода; $m_i = \frac{c \cdot \rho}{S_i}$; $n_i = \frac{\lambda_i \cdot \rho}{2 \cdot S_i \cdot d_i}$.

Для анализа условий функционирования гидроударника с учетом распределённых параметров потока жидкости, обеспечивающего его работу, при быстрых изменениях мгновенных значений давления и расхода по длине трубопровода, систему уравнений (1) в частных производных гиперболического типа необходимо рассматривать в характеристической форме. После перехода в характеристических уравнениях от дифференциалов к конечным приращениям, с соблюдением необходимого условия формирования сетки характеристик для численных расчетов

$$\Delta x = \pm \Delta t \cdot c, \quad (2)$$

где Δx – шаг по пространственной координате сетки, Δt – шаг по временной координате сетки,

получим:

$$\Delta p_i(x_i, t) + m_i \cdot \Delta Q_i(x_i, t) + (f(x_i, t) + k_i) \cdot \Delta x = 0, \quad (3)$$

$$\Delta p_i(x_i, t) - m_i \cdot \Delta Q_i(x_i, t) - (f(x_i, t) + k_i) \cdot \Delta x = 0, \quad (4)$$

где $k_i = \sin_i \cdot \rho \cdot g$.



Уравнение (3) отображает соотношения между приращениями давления и расхода на прямых (С⁺), а уравнение (4) – на обратных (С⁻) характеристиках.

В начале трубопровода формируется граничное условие:

$$Q_1(0, t) = Q_o \cdot \tag{5}$$

Аналогично получают описания граничных условий для всех участков трубопровода.

Полученная система уравнений решается методом итераций в программе SciLab, позволяющей не только рассчитать необходимые параметры, но и визуализировать полученные результаты в виде графиков их изменения при различных режимах работы гидроударника (запуск, установившийся режим).

При составлении модели работы гидроударника учтена взаимосвязь и взаимовлияние динамики бойка и клапанной группы. Определение времени перестановки клапанов (с учётом характера их движения и перемещения бойка на свободном ходе) осуществляется на основании отдельной математической модели, составляемой для конкретной конструктивной схемы клапанной группы.

Для установления ряда величин, необходимых для проведения этих расчётов, были проведены исследования по учёту влияния на рабочий цикл конструктивных параметров клапанной группы. По осциллограммам, приведенным на рисунке 1, видно, что при одном и том же максимальном рабочем давлении уменьшение гидравлических сопротивлений на впускном клапане позволяет увеличить скорость бойка на ходе вниз в 1,75 раза, что привело к увеличению частоты ударов с 16,3 до 22,1 Гц (на 36 %). Т.е. снижение гидравлических сопротивлений на впускном клапане позволяет значительно улучшить характеристику гидроударника.

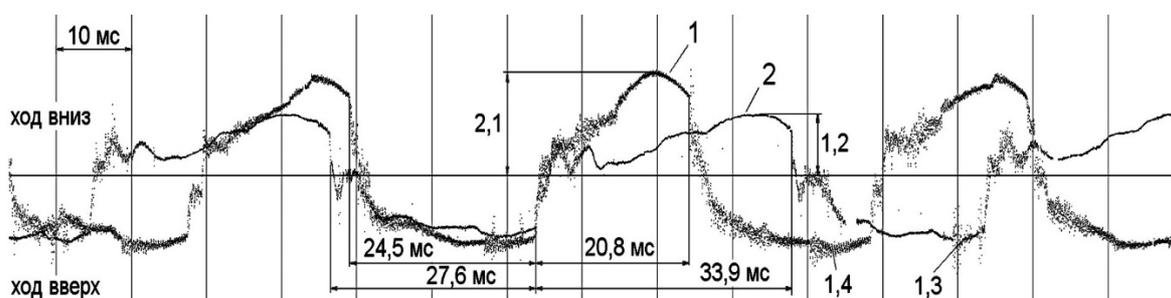


Рисунок 1 – Сравнение осциллограмм рабочих циклов гидроударника:
1 – при увеличении сечения потока в клапанной коробке; 2 – исходная конструкция

Для определения рациональных параметров клапанной группы было проведено трёхмерное компьютерное моделирование течения жидкости в клапанной коробке и цилиндре гидроударника (один из примеров показан на рис. 2), результаты которого использовались при расчётах параметров рабочего цикла гидроударника.

Проведенный комплекс исследований позволил разработать уточнённый метод расчёта параметров наддолотного гидроударника, использовавшийся для создания практических конструкций диаметром от 108 до 194 мм, ориентированных на применение при бурении газовых и дегазационных скважин в Донбассе.

Учитывая ограниченные возможности имеющегося парка буровых установок, были разработаны рекомендации по регулированию параметров наддолотного гидроударника, обеспечивающих рациональные энергетические показатели по мере роста глубины скважины.

Для обеспечения максимальных глубин скважины и механических скоростей бурения при ограниченной приводной мощности насоса необходимо поддерживать энергию ударов в пределах ±3...5 % (в ряде случаев допускается ±10 %) от максимума за счёт постепенного увеличения хода бойка в зависимости от глубины эксплуатации при неизменном расходе жидкости.

Это позволяет увеличить глубину бурения, компенсируя потери энергии при течении жидкости в бурильной колонне и скважине за счёт некоторого снижения эффективной мощности гидроударника, уменьшая частоту ударов без существенных потерь энергии, что, в свою очередь, позволяет поддерживать механическую скорость бурения на максимально возможном уровне. Когда же энергетические возможности приводного оборудования будут исчерпаны, то переходят на работу на пониженном расходе жидкости (с учётом соблюдения условия очистки скважины от шлама), начиная с минимально возможных значений хода бойка. Проведённая экспериментальная проверка показала принципиальную возможность реализации такого подхода.

Следует отметить, что разработанная конструкция гидроударника диаметром 108 мм успешно применялась для интенсификации шарошечного бурения скважин на воду в гранитах IX–X категории по буримости, когда при небольших глубинах скважин установкой роторного бурения нельзя создать необходимую осевую нагрузку на долото. Использование разработанного гидроударника позволило



обеспечить прирост механической скорости при бурении долотом типа ОК диаметром 120,6 мм в 2,2–3 раза при крайне низких значениях осевой нагрузки (в 4–5 раз меньше рекомендуемой).

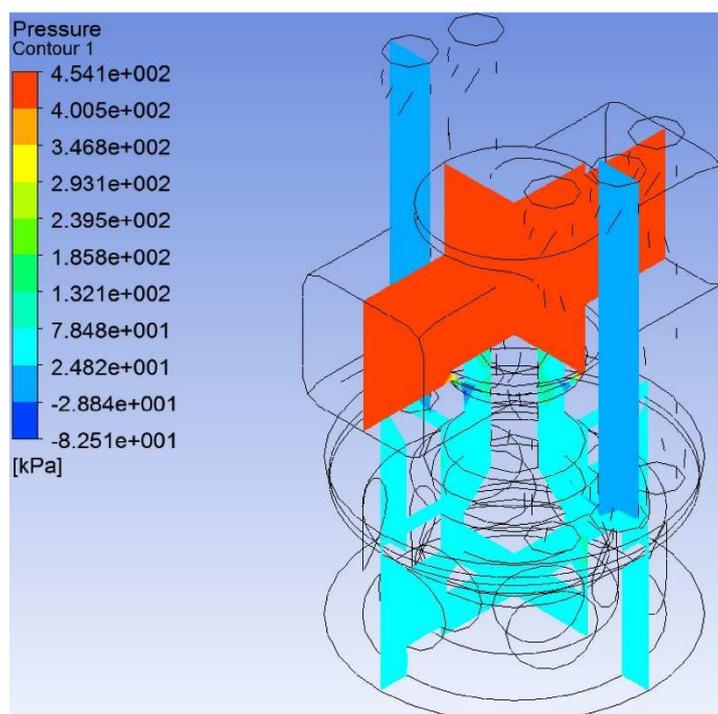


Рисунок 2 – Пример моделирования течения жидкости в клапанной коробке и цилиндре гидроударника.

Литература

1. Каракозов А.А. Перспективы разработки динамически активных компоновок бурового снаряда для совершенствования технологии бескернового бурения скважин на угольных месторождениях Донбасса / А.А. Каракозов, В.В. Угнивенко // Научные труды ДонНТУ, Серия «Горно-геологическая». – Донецк : ДонГТУ, 2002. – Вып. 45. – С. 135–139.
2. Сулейманов Р.И. Совершенствование наддолотного гидроударника для роторного способа бурения : дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Сулейманов Рустэм Ибрагимович. – Уфа : УГНТУ, 2004. – 102 с.
3. Габдрахимов М.С. Наддолотные многоступенчатые гидросилителители / М.С. Габдрахимов, Л.Б. Хузина. – СПб. : ООО «Недра», 2005. – 148 с.
4. Chunqing Zha, Gonghui Liu, Jun Li, Yumei Li, Yan Xi, and Boyun Guo. Combined percussive-rotary drilling to increase rate of penetration and life of drill bit in drilling hard rock formation // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2017. – Vol. 53. – № 2. – P. 254–262.
5. 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.
6. Коломоец А.В. Предупреждение и ликвидация прихватов в разведочном бурении. – М. : Недра, 1985. – 220 с.
7. Фокс Д. Гидравлический анализ неустановившегося течения жидкости в трубопроводах. – М. : Энергоиздат, 1981. – 247 с.

References

1. Karakozov A.A. Prospects for the development of dynamically active drill string arrangements for improving coreless drilling technology in Donbass coal deposits / A.A. Karakozov, V.V. Ugnivenko // Proceedings of DonNTU, Mining and Geological Series. – Donetsk : DonSTU, 2002. – Vol. 45. – P. 135–139.
2. Suleymanov R.I. Improvement of the over-bit hammer for rotary drilling : Diss. ... cand. tech. Sciences: 05.02.13 / Suleymanov Rustem Ibragimovich. – Ufa : UGNTU, 2004. – 102 p.
3. Gabdrakhimov M.S. Over-bit multi-stage hydraulic booster / M.S. Gabdrakhimov, L.B. Khuzina. – St. Petersburg : Nedra, 2005. – 148 p.
4. Chunqing Zha, Gonghui Liu, Jun Li, Yumei Li, Yan Xi, and Boyun Guo. Combined percussive-rotary drilling to increase rate of penetration and life of drill bit in drilling hard rock formation // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2017. – Vol. 53. – № 2. – P. 254–262.
5. Kalinichenko O.I. Hydraulic hammer tools and rigs for drilling wells on the shelf / O.I. Kalinichenko, P.V. Zybinsky, A.A. Karakozov. – Donetsk : «Weber» (Donetsk branch), 2007. – 270 p.
6. Kolomoets A.V. Prevention and elimination of sticking in exploratory drilling. – M. : Nedra, 1985. – 220 p.
7. Fox D. Hydraulic analysis of unsteady fluid flow in pipelines. – M. : Energoizdat, 1981. – 247 p.