

несущую способность: прочность и устойчивость. Исходя из этого, в соответствии с прогнозируемым техническим состоянием зданий выбирают меры по их защите: ремонтно-восстановительные работы — при удовлетворительном и неудовлетворительном состояниях, конструктивные меры — при предаварийном состоянии, горные и конструктивные меры — при аварийном состоянии. Объем ремонтно-восстановительных работ и конструктивных мер защиты определяется в зависимости от степени соответствующего технического состояния.

Библиографический список

1. **Правила** охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. — М.: Недра, 1981.
2. **Временные** технические условия по охране сооружений и природных объектов от влияния подземных горных разработок. КД 12.00159226. 013 – 95 / Минуглепром Украины, УкрНИМИ. — Донецк, 1995.
3. **Методические** указания по прогнозу допустимых и предельных деформаций земной поверхности при многократной подработке зданий и сооружений. ВНИМИ. — Л., 1991.
4. **Рекомендации** по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горных разработок в основных угольных бассейнах. Стройиздат. — Л., 1967.

© *Ермаков В.Н., Блиникова Е.В., Шнеер В.Р., 2002*

УДК 622.243.952

КАЛИНИЧЕНКО О.И. (ДонНТУ)

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОУДАРНЫХ ПОГРУЖНЫХ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ (ПБС) ДЛЯ ОДНОРЕЙСОВОГО БУРЕНИЯ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН (ОПС)

В статье затрагиваются вопросы развития отрасли морского бурового производства, касающиеся технического обеспечения однорейсовой проходки скважин глубиной 6–10 м с мобильных и экономичных буровых судов малого и среднего водоизмещения. По сути, не вызывает особых дискуссий техническая подготовленность бурения таких скважин в илах и неплотных песках. В то же время, ОПС на глубину 6–10 м в «тяжелых» грунтах (плотные пески различного гранулометрического состава, породы глинистого комплекса, гравийно-галечные отложения, детритовые известняки, прослойки крепких пород) ни в отечественной, ни в зарубежной отрасли МБП технически не обеспечена.

Проведенными в ДонНТУ детальными исследованиями обоснована возможность принципиального решения проблемы на базе гидроударных ПБС, гидродвигатель которых функционально обеспечивает комплекс эффектов, реализуя комбинированный способ бурения: ударно-вибрационное разрушение горной породы, постоянную обратную циркуляцию жидкости в керноприемнике и размыв осадков по внешней поверхности колонкового набора. В соответствии с назначением ПБС — интенсифицировать процесс однорейсового бурения скважин в широком диапазоне донных осадков — естественным критерием эффективности его работы являются выходные показатели процесса ОПС, который, с позиции системного подхода, можно представить в виде структурной схемы (рис.1).

В рассматриваемой системе задействованы разнообразные факторы, которые разделены на две основные группы: технические (конструкция с соответствующими параметрами, кинематика и динамика ПБС) и технологические, являющиеся управ-

ляемыми режимными параметрами бурения. Отмеченные факторы различным образом воздействуют на процесс через взаимодействие со средой, определяя его выходные параметры: рейсовую углубку (L), механическую скорость ($V_{мех}$) и выход керна (BK).



Рис.1. Структурная схема процесса однорейсовой проходки скважины погружными гидроударными буровыми снарядами: E — энергия удара; n частота ударов бойка; $Q_{потр}$ — интенсивностью восходящего движения воды в керноприемнике ПБС

Применительно к рассматриваемой системе, управление процессом имеет свою специфику, обусловленную характером требований к факторам, подвергающимся варьированию и средствам их обеспечения. С одной стороны существует определенная взаимосвязь между факторами технической группы системы и ее выходными параметрами ($n, E, Q_{потр}$). С другой стороны установлено [2], что изменение вида модели разрушения, сопротивлений разрушаемой среды продвижению пробоотборника в грунт и параметров

взаимодействия ПБС с горной породой не существенно влияет на количественные изменения частотно-энергетических характеристик и характер закономерностей работы гидроударного ПБС. В этой ситуации реализация оптимального варианта процесса ОПС обуславливает проблему определения рациональных технологических режимов ОПС на базе структурного и параметрического синтеза главного звена ПБС — гидроударного генератора нагрузок. Научно-технической и технологической основой проведения этих работ являются закономерности, связывающие параметры режима комбинированного бурения и работу гидроударных машин, параметры которых максимально приближаются к оптимальным.

Энергия удара (E), при достаточной частоте (n) ударов бойка является главным физическим критерием интенсивности воздействия внешних сил при бурении скважин [4]. Одновременно, взаимосвязанные характеристики E и n обуславливают достаточную величину амплитуды колебаний бурового снаряда, критическое значение которой определяет рациональное условие бурения несцементированных грунтов — $A_{min} \geq \alpha \delta$ (δ — средневзвешенная крупность зерен рыхлых отложений, α — экспериментальный коэффициент [3]).

Существенным средством достижения заданных выходных показателей ОПС с нормативным пробоотбором является возможность создания постоянного восходящего движения воды в керноприемнике ПБС с необходимой интенсивностью ($Q_{потр}$) [2, 3].

Для технического обеспечения заданного соответствия управляемых режимных параметров ($n, E, Q_{потр}$) выходным показателям процесса бурения ($L, V_{мех}, BK$) предложена схема многофункционального гидроударного ПБС (рис.2). Гидродвигатель ПБС структурно представляет собой кинематический синтез двух систем: гидродвигателя и насосного блока (НБ), связанных общим законом функционирования. Гидродвигатель

формирует импульсы напряжения в колонковой трубе, энергия которых передается «башмаку». Одновременно, перемещающийся поршень ГУ обеспечивает работу НБ по созданию восходящего движения воды в керноприемной трубе. В процессе выхлопа отработанная жидкость совершает работу по размыву стенок скважины.

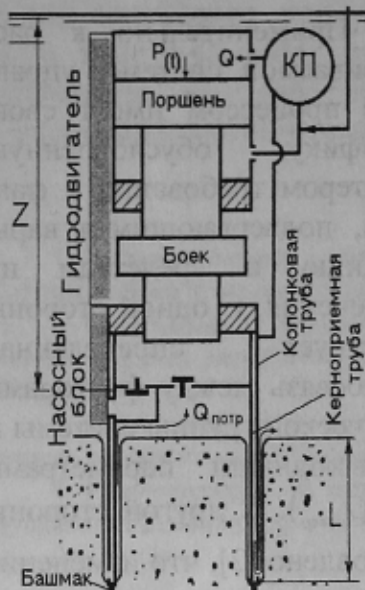


Рис.2. Схема многофункционального гидроударного ПБС

В центре задачи определения оптимальных параметров ПБС находятся вопросы исследования динамики работы гидроударного генератора нагрузок. Рабочий процесс рассматриваемого класса машин описывается уравнения движения поршня бойка в виде традиционного соотношения (1).

Расширенные функции гидродвигателя ПБС предопределили изменения в перечне регулярных сил, определяющих закономерность возвратно-поступательного перемещения главного исполнительного элемента машины — поршня-бойка (ПБ). Давление, формирующее движущую силу в цилиндре гидродвигателя машины (2), представлено с учетом потерь энергии жидкости на привод НБ (формула (3), третье слагаемое).

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = P_{(t)}f - R; \quad (1)$$

$$P_{(t)} = k\rho\mu c \frac{f}{f_T} \left(\frac{Q}{f} - \frac{dx}{dt} \right) + P_1 + P_2; \quad (2)$$

$$P_1 = \left[mV_1^2(1-\varphi^2) + 2RS + \left(\lambda \int_0^L dL_1 \frac{dx}{dt} - Pa - \rho gZ \right) \right] (2QT)^{-1}, \quad (3)$$

где m — масса подвижных частей исполнительного элемента машины; $\frac{dx}{dt}$, $\frac{d^2x}{dt^2}$ — текущее значение скорости и ускорения бойка; $P_{(t)}$ — давление жидкости в активных камерах ГУ; f — рабочая площадь поршня; R — силы сопротивления движению поршня; k — коэффициент, учитывающий разрежение за поршнем при гидроударе; ρ — плотность жидкости; μ — коэффициент утечек жидкости; c — скорость распространения гидроударной волны; f_T — площадь сечения трубопровода; Q — расход жидкости; P_1 — давление, обусловленное работой жидкости в цилиндре ГУ; P_2 — давление на преодоление сил сопротивлений, связанных с циркуляцией жидкости в гидроударной системе; V_1 — скорость бойка в конце рабочего хода (S); φ — коэффициент восстановления скорости бойка; λ — коэффициент гидравлических сопротивлений при восходящем движении жидкости в керноприемной трубе [2]; L — длина колонковой трубы; L_1 — интервал заполнения керноприемной трубы керном; P_a — атмосферное давление; Z — координата НБ под уровнем моря; T — период цикла.

Выбор оптимальных конструктивных и рабочих параметров гидроударных машин, основан на аналитическом решении уравнения баланса объемов жидкости

(4), записанного с учетом изменения скорости потока на фазе свободного хода бойка (ΔV), обусловленной волновыми процессами в цилиндре при открытии органа управления машины:

$$\begin{cases} QT = \frac{2fS}{\mu} + \frac{2S_2}{k_2V_1}(V_1 + \Delta V)f; \\ \Delta V = \left[k_{рм\epsilon} \left(\frac{Q}{f} - V_1 \right) \frac{f^2}{f_r} + (P_1 + P_2)f \right] \left[f_0 \rho c \left(1 + \frac{f}{f_r} \right) \right]^{-1}, \end{cases} \quad (4)$$

где f_0 — площадь сечения канала органа управления; S_2 — свободный ход бойка; k_2 — коэффициент потерь скорости бойка на свободном ходе.

Зависимость (4) решается относительно времени рабочего хода бойка (t_1), являющегося основой расчета остальных параметров машины (таблица).

Таблица. Расчетные формулы для определения рабочих параметров ГУ

Параметр	Формула	Параметр	Формула
Скорость бойка в конце рабочего хода	$V_1 = \frac{S}{t_1}(1 - e^{-at_1}) \left[1 - \frac{1}{at_1}(1 - e^{-at_1}) \right]^{-1}$	Время цикла	$T = 2 \left(t_1 + \frac{S_2}{k_2V_1} \right)$
		Частота	$n = T^{-1}$
Коэффициент	$a = k_{рм\epsilon} \frac{f^2}{f_r}$	Эффективная мощность	$N_3 = 2En$
Скорость соударения	$V_2 = \sqrt{V_1^2 - \frac{2S_2P(t)f}{m}}$	Мощность на привод	$N = QP(t)$
Энергия удара	$E = 0.5mV_2^2(1 - \varphi^2)$	КПД	$\eta = N_3/N$

Для решения задачи выбора основных параметров ПБС необходимо обеспечить наибольший уровень мощности гидроударной машины при заданных ее габаритах и ограничениях по выходным параметрам, прежде всего по n и E . Кроме того, с учетом постоянно изменяющихся условий эксплуатации и параметров среды, для получения максимальных выходных параметров системы «ПБС — скважина», оптимальная рабочая область функционирования ПБС должна удовлетворять условию оперативного дрейфа сочетания n и E внутри этой области.

Решение задачи осложняется ограниченной резервной энергоемкостью малотоннажных буровых судов. Это в свою очередь существенно ограничивает режимными параметрами привода гидроударной машины (допустимое значение расхода жидкости $[Q]$ и давления в системе $[P]$), которые являются фактором, определяющим границы рабочей частотно-силовой характеристики гидроударной машины.

В исследуемой системе особое значение имеет соотношение между частотой и интенсивностью обратной промывки ($Q_{номр}$). На процесс формирования ($Q_{номр}$) накладывается ограничение, связанное с выбором диапазона изменения частоты. С одной стороны, частота ударов бойка (n) не должна быть меньше необходимой для

реализации ударно-вибрационного эффекта (n_1), с другой стороны, этот параметр должен быть настолько мал, чтобы обеспечить условие достаточного заполнения водой рабочей камеры насоса ($Q_{ном}^{min}$) [2, 4].

При отмеченном характере функциональных связей между различными группами параметров системы «ПБС — скважина» показателем оптимизации системы является эффективная мощность гидроударной машины ($N_э = En$). Если относить $N_э$ к величине мощности на привод ($N_{пр}$), то критерий оптимальности гидроударной машины адекватен коэффициенту полезного действия машины (η).

При ограничениях на быстродействие вытеснителя НБ (он кинематически и механически связан с поршнем гидродвигателя), достижение условия $N_э \rightarrow \max$ возможно лишь за счет увеличения параметра E .

Для получения наибольших значений энергии удара необходимо выделение оптимального хода (S_{opt}), при котором скорость соударения поршня (V_2) максимальна. Максимум значения (E) достигается при соответствующей, заранее определенной массе бойка ($m_б$). С учетом нормативных и технических ограничений, задача создания систем наиболее полно удовлетворяющих различным условиям бурения в производственных условиях, сужена областью получения стабильных управляемых режимных параметров (частоты и скорости соударения бойка с наковальней (n, V_2), которые являются характеристикой погружной машины и остаются постоянными при условии обеспечения их работы достаточным количеством жидкости при необходимом давлении (P), не превышающем допустимое значение [P].

С учетом отмеченного, оптимизация гидроударной машины ПБС (алгоритм определения параметров гидродвигателя ПБС представлен на рис.3) сведена к решению задачи выбора оптимального значения КПД машины (η) по параметру S_{opt} , для выполнения условия $V_2 \rightarrow \max$ и оперативного нахождения условного максимума $N_э$ в ограниченном диапазоне расхода жидкости ($Q_{min} \leq Q \leq [Q]$) и допускаемого давления ($[P]$) в системе. Одновременно оптимизация управляемых режимных параметров системы (n) (E) и ($Q_{ном}$) осуществлена по необходимому диапазону достижения составляющих эффективной мощности ГУ (n и E внутри области ограничений) путем изменения Q (в рамках количественных и технических ограничений Q и $P_{(i)}$).

В предложенном алгоритме использованы дополнительные исходные данные: d_T — внутренний диаметр керноприемной трубы; E_{min} — минимально необходимая энергия удара бойка; P_y — сила удара бойка гидроударной машины; $Q_{нб}$ — производительности НБ; U_k — критическая скорость движения гидросмеси в колонковом наборе ПБС; Δ — заглубление ПБС за удар; η_y — коэффициент передачи удара буровому снаряду; $V_{1(opt)}$ — оптимальная скорость бойка соответствующая оптимальному рабочему ходу (S_{opt}):

$$N_э = En \rightarrow \max;$$

$$\eta = \frac{En}{QP_{(i)}} \rightarrow \max;$$

$$Q_{min} \leq Q \leq [Q];$$

$$P \leq [P];$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{min} = \frac{2E_{min}}{P_y \eta_y (1 - \varphi^2)} \geq \alpha \delta; \\ E = \frac{mV_2^2 (1 - \varphi^2)}{2} \geq E_{min}; \\ \left[V_2 = \sqrt{V_{1(opt)}^2 - \frac{2S_2 P(t) f}{m}} \right] \geq \left[V_{2(min)} = \sqrt{\frac{2E_{min}}{m_0 (1 - \varphi^2)}} \right]; \\ V_{1(opt)} = \frac{S_{opt}}{t_1} (1 - e^{-at_1}) \left[1 - \frac{1}{at_1} (1 - e^{-at_1}) \right]; \\ S_{opt} = f(Q) \dots \text{но...} [4]; \\ \left[Q_{нб} \geq [Q]_{нб}^{min} = U_k \pi \delta (d_T - \Delta) \right]; \\ \left[Q_{нб} = f(n); \dots n = \left[2 \left(t_1 + \frac{S_2}{V_{1(opt)} k_2} \right) \right]^{-1} \leq n_1 \right]. \end{array} \right.$$

Рис.3. Алгоритм процедуры выбора выходных параметров ПБС

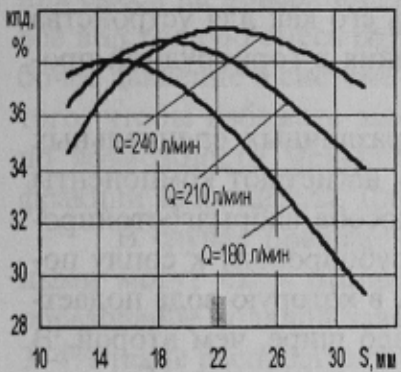


Рис.4. Графики оптимальных значений КПД ПБС

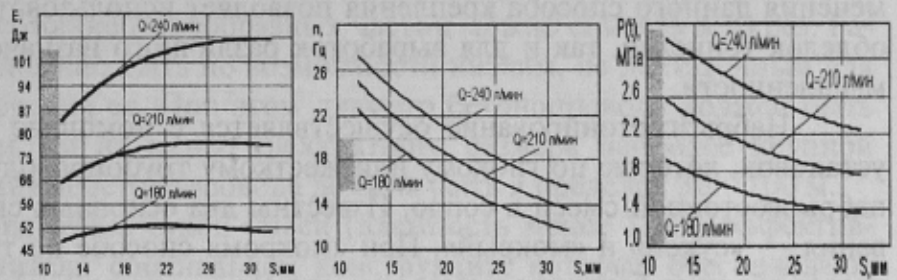


Рис.5. Графики значений энергии удара (E), частоты ударов бойка (n) и давления в системе (P(t)) при ударах бойка (n) и давления в системе (P(t)) при оптимальных значениях S_{opt} = 22 мм

Реализация алгоритма позволила выполнить параметрический синтез погружных буровых снарядов, входящих в состав установок УГВП-130/8. Для типичных донных отложений акватории Азовского моря обоснованы диапазоны частотно-энергетических параметров ПБС, показанные на рис.4 и 5 в виде семейства кривых в функции рабочего хода при установленных уровнях расхода рабочей жидкости.

Библиографический список

1. Дерусов В.П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин. — М.: Недра, 1984. — 185 с.
2. Калиниченко О.И., Русанов В.А. Влияние условий работы насосного блока установки УГВП-130/8 на энергетические параметры погружателя // Науковий вісник НГА України. — Дніпропетровськ, 2000. — Вип. 3. — С. 81–85.
3. Коломоец А.В., Калиниченко О.И., Неудачин Г.И. Методика определения исходных данных при проектировании рабочих параметров виброударных механизмов для ликвидации прихватов бурового инструмента // Изв. Вуз. Нефть и газ, 1982. — Вып.9. — С. 13–17.
4. Калиниченко О.И. Особенности конструкций и элементы проектирования характеристик гидроударных буровых снарядов для однорейсового бурения подводных скважин // Труды Дон ГТУ. Серия Горно-геологическая. Вып. 11. — Донецк, 2000. — С. 16–23.