

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ  
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

---

где  $a^2 = c^2 / b^2$  - постоянный коэффициент. В этом случае скорость потока определяется выражением:

$$\vartheta(x, t) = -\frac{1}{k}$$

В данной работе были рассмотрены одномерные дифференциальные изотермические нестационарные движения нефти в длинных трубопроводах в рамках модели И. А. Чарного [4] и ламинарного режима работы трубопровода Х. М. Гамзаева [2,3]:

$$-\frac{M^2}{S^2} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial \rho}{\partial x} - \rho P_{\xi} \delta(x - \xi) = -\frac{128\mu M}{\pi D^4},$$

Анализ данных [1-4] показывает, что используемые математические модели способны корректно предсказывать загрязнение атмосферы, резервуаров и почвы.

В частности, для непосредственного определения определения места утечки, мы предлагаем метод, который будет основываться на применении математической модели процесса движения сжимаемой жидкости по трубопроводу.

#### Литература

1. Рабинович Е. З. Гидравлика. М.: Недра, 1980. – 326с.
2. Гамзаев Х. М., Ширинов К. Ф. К выведению коэффициента гидравлического сопротивления.
3. Гамзаев Х. М. Некоторые проблемы трубопроводной транспортировки жидких углеводородов. – С. 14–34.
4. Чарный И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. 1975. –295 с.
5. Жуковский Н.Е. Сборник работ в 7-ми т. Т.III. Гидравлика. Прикладная механика. - 696 с.

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЗАМЕНЫ ДОЛОТА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИНЫ. РОТОР (УСТРОЙСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ)**

**Д.А. Кондратьев**

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

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

**Введение.** Бурение ствола скважины проводится с помощью вращающегося долота, на который действует постоянная осевая нагрузка. Для осуществления вращения долота применяется установленный на поверхности ротор. Ротор является многофункциональным оборудованием буровой установки. Помимо того, что он передает через бурильную колонну и ведущую трубу вращение долоту, он может удерживать на весу бурильную колонну, в случае, когда отсоединена талеваая система. Также ротор является опорным столом, применяемым для свинчивания и развинчивания труб при спуско-подъемных операциях, используется как стопорное устройство для свинчивания долота с УТБ и т.д. Для выполнения операций по смене долота в отверстие стола ротора вместо вкладышей применяются специальный пневматические клинья, на которые подвешивают бурильную колонну с помощью зажимных сухарей с насечкой, и затем навинчивают или отвинчивают бурильную свечу, находящуюся над ротором.

Для глубокого бурения чаще всего применяются шарошечные долота. Для данного вида долот характерен износ либо по вооружению, либо по опоре. Большой износ опор долота часто приводит к поломке долота, что может привести к серьезным последствиям. В частности, вызвать искривление ствола скважины, заклинивание колонны в скважине, скручивание и последующую поломку бурильных труб, соединений, скрепляющих их и т.д. Помимо этого, сразу после подъема колонны из скважины необходимо опустить на забой инструмент либо для извлечения останков неисправного долота, либо произвести разбуривание оставшихся деталей с помощью нового долота. Все эти процессы приводят к большим потерям времени, а также к преждевременному износу новых долот, в случае, если им приходится разбуривать останки старого долота. Ввиду этого, необходимо точно контролировать рабочее время опор шарошек до момента их полного износа.

**Актуальность.** По данным статистики, чаще всего долото выходит из строя именно из-за износа опор шарошек долота. Ввиду этого, контроль рабочего времени опор шарошек долота до их окончательного износа приобретает большое значение. Также менее частой причиной замены долота является износ его вооружения. Несмотря на это, необходимо учитывать этот вид износа в модели механического бурения.

**Цель:** исследовать технологический процесс замены долота, а также провести анализ эффективности имеющихся физико-математических моделей времени работы долота по опоре и вооружению.

**Технологический процесс замены долота.** Спуско-подъемные операции для бурильных труб с целью замены неисправного долота состоят из одних и тех же операций, повторяемых многократно. К машинным относятся только операций по подъемам свечи из скважины и порожнего элеватора. Оставшиеся операции являются частично ручными или полностью ручными, которые требуют больших затрат физических сил. К подъемным операциям можно отнести: посадку посадка колонны на элеватор; развинчивание резьбового соединения; установка свечи на подсвечник; спуск порожнего элеватора; перенос штропов на загруженный

элеватор и подъём колонны на высоту свечи. При спуске колонны осуществляются следующие операции: вывод свечи из-за пальца и с подсвечника; навинчивание свечи на колонну; спуск колонны в скважину; посадка колонны на элеватор; перенос штропов на свободный элеватор. Устройства, применяемые при захвате и подвешивании колонн бурильных труб, различаются по размерам и грузоподъемности.

С целью сокращения времени спуско-подъемных операций производится отвинчивание колонны бурильных труб с помощью свечей. В данном случае поднимают верхний конец трубы над столом ротора, сажают её на специальные клинья и закрепляют на элеваторе. После этого бурильную колонну поднимают на высоту свечи, сажают на специальные клинья, и затем производят отвинчивание свечей с помощью ключа АКБ. Затем рабочие заводят колонну за палец и ставится на подсвечник. В конце, когда операции по смене долота проведены, производят спуск бурильной колонны свечами до забоя скважины. Операции по отворачиванию и наворачиванию шарошечных долот выполняются с помощью поддолотника. Долото либо с помощью лебедки, либо вручную ставят на вкладыши ротора и наворачивают на УБТ или переводник. Во время замены долота происходит промывка скважины. Промывка происходит до тех пор, пока плотность закачиваемого и выходящего бурового раствора не станут равными.

**Математические модели времени работы опоры долота.** Все данные зависимости для времени работы опоры долота имеют одну и ту же структуру как в зарубежных, так и в отечественных моделях:

*Модель Галле-Вудса-Лубинского: ([3], (США))*

$$t_0 = \frac{S c_0}{n \bar{G}^i}$$

где:  $S$  - коэффициент, определяемый опытным путем, по аналогии с  $K_{0.ш.}$ ,  $S=1/K_{0.ш.}$ ,  
 $i$  - коэффициент, изменяющийся от прилагаемой осевой нагрузки, для рабочих  $\bar{G} = 0,4 - 1,2$  ( $i \approx 2$ ).

*Модель фирмы "Тенесо Oil Cor.":*

$$t_0 = \frac{B}{n \bar{G}^j}$$

где:  $B$  - постоянная подшипника, зависит от вида промывочной жидкости и типа долот.

*Отечественная модель:*

$$t_0 = \frac{K_{0.ш.}}{n \chi \bar{G}^\lambda}$$

где:  $K_{0.ш.}, \chi, \lambda$  - коэффициент и показатели степени, которые зависят от конструкции долота, типа разрушаемой породы и т.п. В различных источниках данные параметры могут принимать разное значение, но  $\chi \approx 1$ , и всегда  $\lambda > 1$ .

Для времени работы опоры долота получим:

$$t_0 = \frac{B}{A G^{\beta_2} n^{\alpha_2} Q^{\gamma_2}}$$

В Российской Федерации при бурении смена долот чаще всего происходит именно из-за износа его опор, в то время, как вооружение долота ещё исправно. Поэтому уравнение для времени работы опор долота необходимо при разработке математической модели ТП бурения.

**Математические модели времени износа вооружения долота.** Шарошечные долота чаще всего применяются при глубоком бурении, ввиду этого зависимости для времени полного износа вооружения шарошек долота при различных условиях бурения и сочетания пары долото-порода имеют одинаковый вид как в отечественных, так и в иностранных математических моделях:

*Модель Галле-Вудса-Лубинского: ([4], (США))*

$$t_B = 3100 \frac{A}{(n)_1 (\bar{G})_1}$$

где:  $A$  - постоянный коэффициент износа вооружения при конкретных условиях бурения,

$(n)_1$  - функция, зависящая от частоты вращения долота,

$(\bar{G})_1$  - функция, зависящая от осевой нагрузки на долото.

*Модель фирмы "Тенесо Oil Cor.":*

$$t_B = \frac{\int_1^U f(D_2) dD_2 A (G_{max} - G)}{n^\alpha}$$

где:  $f(D_2)$  - функция износа вооружения долота,

$A$  - коэффициент абразивности, зависит от типа породы, конструкции долота и т.п.,

$G_{max}, G$  - максимальная и рабочая нагрузки на долото,

$\alpha$  - степень пропорциональности  $v_m$  числу оборотов  $n_2$  ( $\alpha < 1$ ).

*Отечественная модель:*

$$t_B = \frac{1}{k_g n \bar{G}^2}$$

где:  $k_g$  - опытный коэффициент, зависящий от конструкции долота, физико-механических свойств породы и т.п.

Для времени работы вооружения долота получим:

$$t_B = \frac{D}{A G^{\beta_2} n^{\alpha_2} Q^{\gamma_2} F(t)}$$

**Результаты исследования.** Анализируя данные математические модели, можно выявить некоторые закономерности. Видно, что модель времени износа как для опоры, так и для вооружения долота является

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ  
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

степенной функцией от режимных параметров  $G$  и  $n$  с параметрическими коэффициентами, зависящими от типа бурового раствора, вида долота, физико-механических свойств породы и др. Уравнение имеет одинаковый вид как для отечественных, так и для зарубежных моделей. Для математической модели времени износа опоры долота рекомендуется добавить в зависимость  $t_0 = f(G, n)$  параметр  $Q$  - расход бурового раствора в явном виде, а не в виде обобщенного коэффициента, учитывающего множество факторов - тип долота, вид породы и др.

**Заключение.** Произведено исследование технологического процесса замены долота, а также проанализированы основные математические модели времени работы долота. Можно сделать вывод, что как для опоры, так и для вооружения долота, математическая модель времени износа также является степенной функцией от режимных параметров  $G$  и  $n$ . Уравнения времени износа опоры и вооружения используются как накопительные функции для выполнения расчетов по определению затраченного долотом ресурса работы как по опоре, так и по вооружению, и в дальнейшем для определения времени подъема долота при достижении допустимых значений.

**Литература**

1. Цуприков Л.А. Интеллектуальная система адаптивного управления технологическим процессом бурения нефтегазовых скважин: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.06 / [ГОУ ВПО "Кубанский государственный технический университет"]
2. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин. Учебник. Издание: Недра, Москва, 2003 г., 1007 стр., УДК: 622.24:622.143 (075.8), ISBN: 5-8365-0130-0.
3. Беркунов В.С., Леонов Е.Г. Обобщенные формулы для определения оптимальных значений времени отработки долота и его проходки [Текст]. НТЖ "Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море" -М.: ВНИИОЭНГ, №10, 1999. -с. 20-21
4. Спициадель В.Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие. - СПб.: "Изд. Дом "Бизнес-пресса", 2000 г. - 326 с. 20 см. -5000 экз. ISBN 58110-0025-1
5. Gupta S. K., Wahi P. Tuned dynamics stabilizes an idealized regenerative axial-torsional model of rotary drilling // Journal of Sound and Vibration. -- 2017. -- Jan. -- Т. 412. -- С. 457-473.

**АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОИСК СПОСОБОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
РАСТВОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

**А.С. Королев, С.С. Чернев**

Научный руководитель – профессор С.Н.Харламов

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

На сегодняшний день редко можно встретить скважину, при строительстве которой не использовались бы полимеры. В связи с этим их изучению и модернизации отводят большое количество времени и денежных средств. Однако в условиях промысла зачастую возникают проблемы при приготовлении буровых промывочных жидкостей. Частицы полимера слипаются, что приводит к неполному их растворению. В свою очередь это приводит к не достижению буровым раствором заданных технологических параметров и, как следствие, увеличению вероятности возникновения осложнений, а также потере полимера в системе очистки.

*Цель* исследования заключается в поиске способов оптимизации процесса растворения полимерных материалов при применении их в бурении нефтяных и газовых скважин. В данной работы определяются задачи: проведение обзора применяемых в бурении полимеров; анализ процессов и эффективности математических моделей растворения полимерных материалов; формулировка способов повышения скорости растворения полимеров.

Опыт исследования данных проблем показывает, что полимеры могут быть классифицированы на:

природные материалы;  
модифицированные природные материалы;  
синтетические материалы [1].

Наиболее часто используются модифицированные природные материалы. Его яркие представители – КМЦ и ПАЦ. Данные реагенты в буровых растворах преимущественно выполняют функции понизителей фильтрации и регуляторов реологических свойств.

Существует пять основных подходов к моделированию процесса растворения полимера:

Феноменологические модели с уравнениями Фика;  
Модели с внешним массообменом как процессом, контролирующим процесс растворения полимера;  
Модели релаксации стресса и молекулярные теории;

Анализ с использованием моделей переноса для законов набухания и законы масштабирования для «распутывания» цепей;

Модели континуума [2].

Для полимеров, используемых в бурении, процесс набухания длится сравнительно малый промежуток времени по сравнению со временем непосредственно растворения [3]. Таким образом, для описания процесса их растворения на первом этапе будет достаточным применение модели внешнего массообмена – модели Хиксона Кроуэла. Данная модель наиболее распространена в теории растворения и на данный момент применяется в том числе при исследовании растворения лекарственных средств [4].