

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ
ПОТОКОВ: МОДЕЛЬ ГАЗОПРОЯВЛЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

И.А. Кнауб

Научный руководитель - профессор, д.ф.-м.н. С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Большое количество тепло- и гидрогазодинамических проблем в отраслях промышленности таких, как энергетическая, химическая, нефтегазовая, а также в машиностроении связано с необходимостью детального анализа газожидкостных потоков, т.к. часто они представляют собой рабочее тело промышленных аппаратов и устройств. Процессы переноса в газожидкостных системах нетривиальны из-за нелинейности конвективно-диффузионных механизмов и переменности состава и теплофизических свойств гетерогенной смеси. Многие результаты таких потоков получены экспериментальными методами и ждут своего обобщения на полные условия функционирования систем. Вследствие чего проблемы гидродинамики в многофазных средах очень популярны среди инженеров-нефтяников. Такие потоки в задачах нефтегазовой отрасли встречаются при: транспортировке углеводородов на месторождениях без использования сепараторов; разработке нефтегазового месторождения фонтанным способом, а также при бурении с использованием газированного бурового раствора. В технологических нефтехимических процессах формируются различные смеси нефти и газа. Они могут образовываться на всем пути следования углеводородного сырья от забоя скважины до конечного потребителя. Наш опыт показывает, что при функционировании специального оборудования выделяют частные случаи газожидкостных потоков – газопроявления при бурении скважин. Наблюдение этих процессов объясняется как технологическими причинами, так и геологическими. Заметим, что такие потоки могут вызвать нежелательные техногенные последствия, создающие опасность для окружающей среды, рабочего персонала. Предупреждение и прогноз тяжелых последствий требует больших усилий, экономических затрат, вложений денежных средств и других ресурсов, сил, чтобы избежать, например, случаев перерастания газопроявлений в неконтролируемые газовые фонтаны. Поэтому детальные исследования поведения газожидкостных потоков во внутренних системах очень актуальны у специалистов. Кроме того, библиографический анализ рассматриваемых проблем в других областях позволяет утверждать, что в атомной и тепловой энергетике проблемы прогноза течений газожидкостных смесей в различных трубопроводных сетях более тщательно изучены. Существует большое количество научных трудов, в которых рассматриваются теплродинамические процессы в смесях. Некоторые ученые посвятили большую часть своих работ именно газожидкостным потокам. К ним относятся: Нигматулин Р.И. [4], Кутателадзе С.С. [1] и Накоряков В.Е. [2, 3]. Отметим, что пионерские работы по математическому моделированию гидродинамики газожидкостных потоков дали серьезный импульс развитию задач НГО.

Цель работы: проанализировать положения к построению физико-математической модели процесса газопроявления, образующегося при бурении скважин; дать анализ перспектив применения модели к практическим расчетам; оценить результаты прогноза процессов в газожидкостных течениях, происходящих в вертикальных трубах.

Фундаментальные положения. Физико-математическое моделирование газопроявлений в системе “скважина-пласт” проводится в рамках уравнений: фильтрации углеводородов (газа и нефти) для оценки распределения газа в пласте, а также уравнений законов сохранения массы, энергии и импульса распределения фаз, представленных в нестационарной форме. Данные уравнения формулируются в рамках механики неоднородных многофазных сплошных сред определенного объема V , который ограничен фиксированной площадью S .

Так, уравнения баланса массы и импульса i -ой фазы имеют общий вид [4]:

$$\int_V \frac{\partial \bar{\rho}_i}{\partial t} dV = - \int_S \bar{\rho}_i v_i^n dS + \int_V \sum_{j=1, j \neq i}^N J_{ji} dV \quad (1)$$

$$\int_V \frac{\partial \bar{\rho}_i v_i}{\partial t} dV = - \int_S \bar{\rho}_i v_i v_i^n dS + \int_S \sigma_i^n dS + \int_V \bar{\rho}_i g_i dV + \int_V \sum_{j=1, j \neq i}^N P_{ji} dV \quad (2)$$

где $i=1..N$ – определяет фазу, $\bar{\rho}_i$ – приведенная плотность, J_{ji} – интенсивность перехода массы фаз (за определенную единицу времени t в фиксированном объеме V), P_{ji} – интенсивность обмена импульсом между фазами, σ_i – тензор напряжений i -ой фазы. В правой части уравнения баланса импульса второе слагаемое соответствует действию поверхностных сил, третье – влиянию массовых сил.

Интенсивность обмена импульсом между j -ой и i -ой фазами может быть представлена в виде [4]:

$$P_{ji} = -P_{ij} = R_{ji} + J_{ji} v_{ji} \quad (3)$$

где R_{ji} – сила межфазного взаимодействия (отнесенная к единице объема V смеси), возникающая вследствие давлений и сил трения между фазами. Второе слагаемое отвечает за обмен импульсом вследствие фазовых превращений. Переход $j \rightarrow i$ приводит к тому, что из j -й фазы в i -ю уходит импульс $J_{ji} v_{ji}$, где v_{ji} может рассматриваться как скорость вещества i -й фазы на границе с j -й фазой. В суммарной силе межфазного взаимодействия с i -й фазой можно выделить составляющую из-за расширения *трубки тока* фазы (см. детали в [4]), равную $p \nabla a_i$:

$$\sum_{j=1}^N R_{ji} = p \nabla \alpha_i + \sum_{j=1}^N F_{ji} \quad (4)$$

Здесь α_i — объемная концентрация i -й фазы. Составляющая F_{ji} будет зависеть от скоростной неравномерности между фазами, она будет возрастать с увеличением скорости проскальзывания $u_s = u_j - u_i$. В дальнейшем величину F_{ji} будем называть межфазным трением.

Отдельные положения физической модели исследуемого процесса представлены на рис. 2. Математическая модель (с уравнениями (1) – (4)), позволяет описывать процесс газопроявления при бурении скважин и давать заключения о недопустимости возникновения грифонов (см. рис. 1).

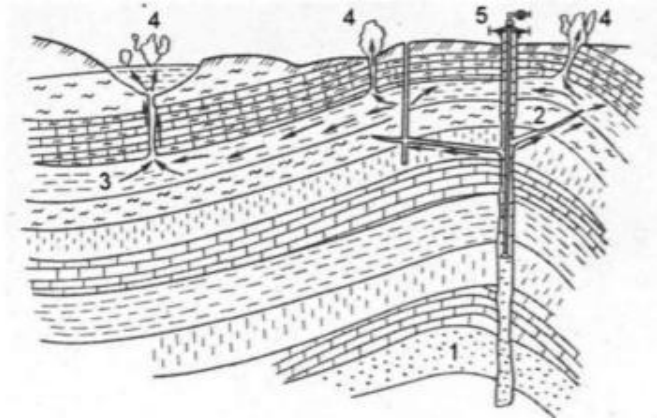


Рис. 1 Схема возникновения грифонов. 1 - газовый пласт, 2 - трещины ГРП, 3 - проницаемый пласт, 4 - грифоны, 5 - скважина.

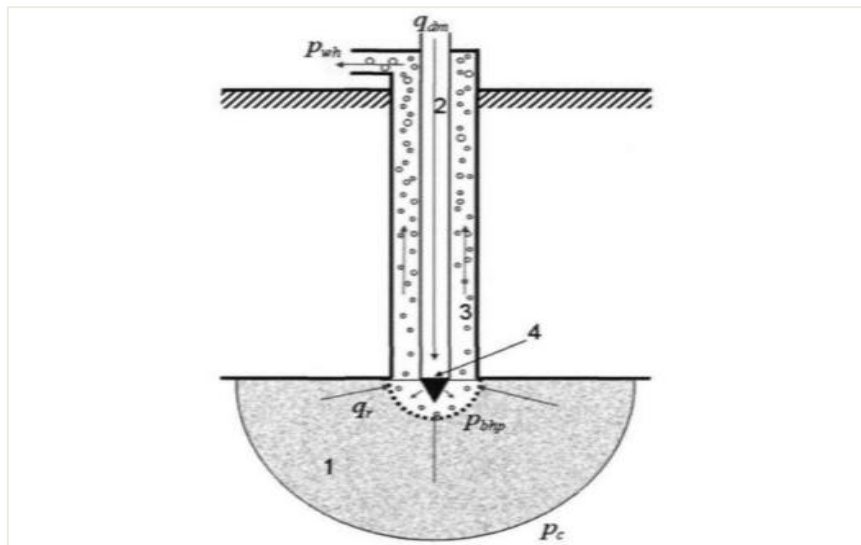


Рис.2 Модель газопроявления

1 - газовый пласт, 2 - колонна буровых труб, 3 - затрубное пространство, 4 - буровое долото

Литература

1. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. М.: Энергия. -1976.
2. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Р., Шрейбер И.Р. Распространение волн в газо- и парожидкостных средах. – Новосибирск. Наука, 1983. -238с.
3. Накоряков В.Е., Соболев В.В., Шрейбер И.Р. Длинноволновые возмущения в газожидкостной смеси // Изв. АН СССР. МЖГ. -1972. -№5.
4. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Т.1,2. -М.: Наука, Гл. ред. Физ- мат литературы. -1987.-470с.