

Букша С.А.

студент

Научный руководитель: Забоева М.И., к.т.н., доцент

Тюменский индустриальный университет

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЛЬНОГО
ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ
ГЕНЕРАЦИИ КАНАЛОВ И ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА**

Аннотация:

В ходе исследования были проанализированы существующие подходы к прогнозированию эффективности радиального вскрытия пласта. Предложена методика моделирования системы каналов радиального вскрытия пласта с применением стохастической генерации ансамблей каналов на основе рассмотрения продвижения гибкой насосно-компрессорной трубы в продуктивном пласте как винеровского процесса.

Ключевые слова:

Радиальное вскрытие пласта, система каналов, призабойная зона пласта, воронка депрессии, область дренирования, стохастическое моделирование.

Buksha S.A.

Student

Supervisor: Zaboieva M.I., Candidate of Technical Sciences

Industrial University of Tyumen

**PREDICTING THE EFFICIENCY OF RADIAL RESERVOIR
PENETRATION BASED ON STOCHASTIC CHANNEL GENERATION
AND PROBABILISTIC ANALYSIS**

Abstract:

In the course of the research, existing approaches to predicting the efficiency of radial reservoir penetration were analyzed. A methodology is proposed for modeling the channel system of radial reservoir penetration using stochastic generation of channel ensembles based on considering the advancement of a flexible coiled tubing in the productive formation as a Wiener process.

Keywords:

Radial reservoir penetration, channel system, bottomhole formation zone, depression cone, drainage area, stochastic models.

В российской нефтегазовой отрасли для освоения сложных активов, где преобладают низкопроницаемые и неоднородные коллекторы, требуется применение специальных геолого-технических мероприятий. Одним из таких методов является радиальное вскрытие пласта (РВП) – экономически эффективная технология, суть которой заключается в создании в пласте каналов длиной до 100 метров и диаметром до 50 мм посредством гидромониторного воздействия. Несмотря на успешный опыт и высокую экономическую эффективность РВП в России и за рубежом, она не получила широкого распространения из-за проблем, включающих недостаток опыта проведения мероприятий в терригенных коллекторах, отсутствие возможности геонавигации в процессе вскрытия пласта и сложности предсказания эффективности мероприятия ввиду высокой неопределённости траекторий каналов.

Существующие подходы к моделированию проведения мероприятия либо не подразумевают учёт неопределённости траекторий каналов, либо не учитывают всех основных технологических параметров проведения операции.

Предлагается совместить стохастический подход к генерации каналов и оценку влияния каналов на работу скважины в долгосрочном периоде при

помощи гидродинамического моделирования. Рассмотрим основные силы, действующие на гибкую насосно-компрессорную трубу и гидромониторную насадку при вскрытии пласта (Рисунок 1):

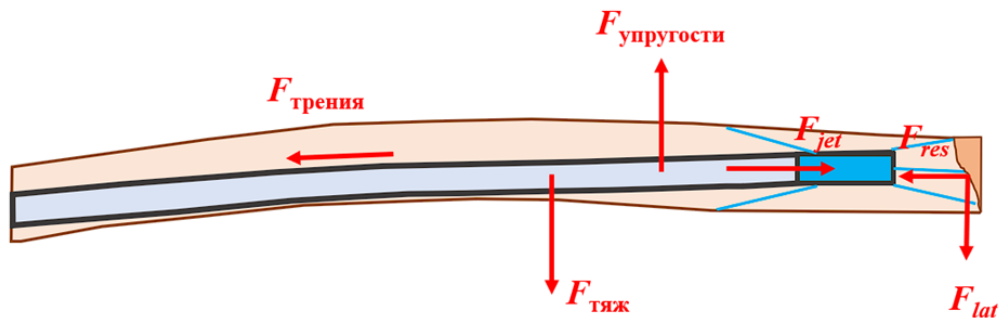


Рисунок 1 – Основные силы, действующие на гибкую насосно-компрессорную трубу и гидромониторную насадку при создании канала радиального вскрытия пласта

В поперечном сечении канала на компоновку действует боковая сила реакции F_{lat} , способствующая отклонению канала от прямолинейной траектории:

$$F_{lat} \approx \eta p_{dyn} A_{proj} \frac{\Delta UCS}{\overline{UCS}} \quad (1)$$

где A_{proj} – характерная проекция площади воздействия струи на неоднородность, м²;

$\overline{UCS}$ – средняя прочность породы в сечении канала, Па;

η - безразмерный коэффициент порядка единицы;

p_{dyn} – динамическое давление струи рабочего агента на выходе из сопла, Па.

Отклонению траектории канала от начального направления препятствует сила упругой реакции трубы. Полимерная труба обладает изгибной жёсткостью EI (где E — модуль упругости материала, I — момент инерции сечения), которая может быть рассчитана для пластовых условий. При возникновении боковой силы труба изгибается, и в ней возникает

восстанавливающий момент $M=EI \cdot \kappa$, где κ — кривизна оси трубы. Характерное плечо действия боковой силы L_{char} определяется расстоянием от насадки до точки контакта трубы со стенкой уже сформированного канала. Условие равновесия моментов даёт следующее соотношение:

$$EI \frac{d\theta}{ds} \approx F_{lat} L_{char} \quad (2)$$

где $d\theta$ — приращение угла отклонения оси канала от прямолинейного направления, рад;

ds — приращение длины канала, м.

Описанный баланс сил позволяет сформулировать локальное уравнение для углового отклонения. Пусть s — длина вдоль канала, $\theta(s)$ — угол между касательной к траектории и начальным направлением (в трёхмерном случае — вектор отклонения в локальном базисе). Из условия изгиба трубы имеем следующее соотношение:

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{M}{EI} = \frac{F_{lat} L_{char}}{EI} \quad (3)$$

Подставляя выражение для боковой силы, получаем:

$$\frac{d\theta}{ds} = \eta \frac{p_{dyn} A_{proj} L_{char}}{EI \cdot UCS} \cdot \Delta UCS(s) \quad (4)$$

В этом уравнении $\Delta UCS(s)$ представляет собой случайную функцию от длины канала, отражающую неоднородность породы вдоль траектории. В масштабе всего канала (десятки метров) можно рассматривать ΔUCS как стационарное случайное поле с нулевым средним, дисперсией $Var(UCS)$ и некоторой длиной корреляции l_{cor} . Если длина корреляции мала по сравнению с длиной канала, процесс приращения длины канала можно описать как винеровский процесс — случайное блуждание с непрерывным временем, а $d\theta/ds$ можно описать белым шумом, тогда эволюция направления описывается уравнением диффузии на единичной сфере:

$$d\Omega = \sqrt{D_\theta} dW, \quad (5)$$

где Ω – единичный вектор направления;

W – двумерный винеровский процесс в касательной плоскости;

D_θ – коэффициент диффузии направления определяется следующим выражением:

$$D_\theta = \left(\frac{\eta \cdot p_{dyn} A_{proj} L_{char}}{EI \cdot \overline{UCS}} \right)^2 \cdot Var(USC) \cdot l_{cor} \quad (6)$$

Разбивая канал на участки ds , и генерируя на каждом участке случайное двумерное отклонение от текущего направления канала с дисперсией D_θ , можно создавать каналы со случайными траекториями, основываясь на технологических параметрах проведения мерпоризации. Описанный алгоритм позволяет генерировать семейства равновероятных случайных траекторий каналов (Рисунок 2).

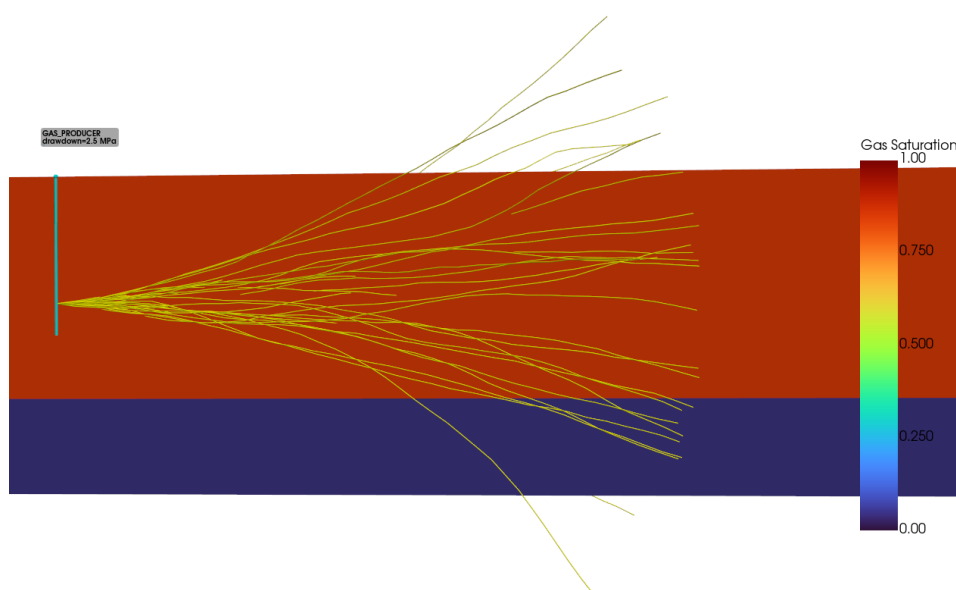


Рисунок 2 – Семейство из 20 равновероятных траекторий канала радиального вскрытия пласта при идентичных начальных условиях

Сгенерированные семейства каналов могут применяться для многовариантного прогнозирования эффективности каналов в конкретных геолого-промысловых условиях.

Использованные источники:

1. Kamel, Ahmed. (2017). Radial Jet Drilling: A Technical Review. 10.2118/183740-MS.
2. Ahmed, R. Optimization of Radial Jet drilling for hard formations present in deep geothermal wells / R. Ahmed, C. Teodoriu // Geoenergy Science and Engineering. – 2024. – Vol. 238. – P. 212930. – DOI: 10.1016/j.geoen.2024.212930.