



Дубина Дмитрий  
Александрович  
*Магистрант группы*  
*ЗНГИ-11,*  
*ГГТУ им. П.О. Сухого.*

# АНАЛИЗ РИСКОВ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗЕНИТНОГО УГЛА

## تحليل مخاطر التكسير الهيدروليكي لقيم زوايا السمت المختلفة

**Аннотация:** эффективность процесса гидравлического разрыва пласта (ГРП) существенно зависит от характеристик создаваемых трещин. Геометрические, фильтрационные свойства трещин формируются не только в зависимости от геологических особенностей пласта, но и от параметров работы, установленных на этапе проектирования. Одним из основных параметров при планировании ГРП является значения зенитного угла в зоне перфорации. Цель работы заключается в оценке предполагаемого негативного эффекта при помощи статистического анализа фактически измеренных данных. В результате подтверждено наличие зависимости зенитного угла и потерь давления на трение, подтвержден эффект и сформулированы рекомендации при подборе скважин для ГРП.

**Ключевые слова:** гидравлический разрыв пласта, зенитный угол, потеря давления на трение, анализ.

دimitri Aleksandrovich Dubina  
طالب ماجستير بجامعة سخوي  
الحكومية التقنية

Научный  
руководитель



Невзорова Алла Брониславовна  
д.т.н., заведующий кафедрой  
*«Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика»*  
*ГГТУ им. П.О. Сухого*

أ.د. آلا برونيسلافوفنا نيفزوروفا  
رئيس قسم تطوير النفط والغاز والاتمنة  
الهيدروليكيه الهوانية بجامعة سخوي  
الحكومية التقنية

### Введение

Цель работы - оценить влияние зенитного угла ствола скважины в интервале перфорации на осложнения при проведении гидроразрыва пласта. В данной статье впервые применены методы корреляции для оценки влияния зенитного угла скважины на процесс ГРП.

### Результаты и обсуждение

В теории гидроразрыва пласта, описанной Экономидесом [1], упоминается наличие рисков, связанных с величиной зенитного угла в интервале перфорации, в котором проводится гидроразрыв. Направление развития трещины обусловлено механическими напряжениями в пласте, в случае несоответствия с направлением перфорации в призабойной зоне пласта (ПЗП) отмечается извилистость - переход направления развития трещины от заданного перфорациями к обусловленному пластовыми напряжениям.

При планировании ГРП значение зенитного угла ствола скважины, превышающее  $30^\circ$ , а в особенности близкое к  $45^\circ$ , учитывается как осложняющий фактор [2]. В ряде случаев на основании данного фактора ограничиваются такие параметры ГРП, как масса, концентрация и средний диаметр частиц пропанта, что может привести к значительному снижению технологического эффекта ГРП высокопроницаемых терригенных коллекторов.

Так как прямое наблюдение процесса формирования трещины технически не представляется возможным, для доказательства и оценки степени влияния рассматриваемого фактора был применен методы статистики. Для проверки гипотезы были отобраны данные о проведенных ГРП – зенитный угол в качестве целевой переменной, бинарную переменную Stop, характеризующую наличие технологических осложнений [3]. По результатам анализа была получена статистическая связь зенитного угла в ИП с потерями давления на трение, но связь с вероятностью технологических осложнений не подтвердилась.

Для определения величины эффекта проведен категориальный анализ. Выборка данных разделена по категориям в зависимости от зенитного угла в ИП. При этом за первый интервал принять значения от 0 до  $2,5^\circ$ , далее интервалы принять с шагом  $5^\circ$ . При построении графика отмечается зависимость градиентов потерь давления, близкая к линейной. Максимальное отличие градиента потерь давления на трение между скважинами с зенитным углом  $0,5\ldots 15^\circ$  и  $35\ldots 55^\circ$  составило 0,012 атм/м для замещения и 0,004 атм/м для информационного ГРП с пропантной пачкой. Для средней измеренной глубины по выборке 1800 м это соответствует разнице устьевых давлений 20 и 5 атм, соответственно. При этом при проведении информационного ГРП с пробной пропантной пачкой, обеспечивает значимое снижение потерь давления на трение.

Таким образом, даже если 100 % выявленной разницы устьевого давления приходятся именно на потери давления на трение в ПЗП вследствие большей извилистости трещины, зенитный угол в ИП не оказывает влияния, достаточного для увеличения риска технологического осложнения.

### Заключение

На основании результатов проведенного анализа рекомендуется исключить значение зенитного угла в интервале перфорации из осложняющих факторов проведения ГРП. Использование пробной пропантной пачки обеспечивает статистически значимое снижение потерь давления на трение, в связи с чем рекомендуется продолжить практику применения пробных пачек пропанта при проведении ГРП на традиционных терригенных коллекторах.

### المقدمة

يهدف هذا العمل إلى تقييم تأثير زاوية ذروة البئر في فترة التفريغ على المضاعفات أثناء التكسير الهيدروليكي. تعد هذه المقالة الأولى التي تطبق أساليب الارتباط لتقييم تأثير زاوية ذروة البئر على عملية التكسير الهيدروليكي.

### النتائج والمناقشة

تشير نظرية التكسير الهيدروليكي التي وصفها إيكونوميدس [1] إلى وجود مخاطر مرتبطة بحجم زاوية السمت في فترة الثقب التي يتم فيها إجراء التكسير الهيدروليكي. يتم تحديد اتجاه تطور الشقوق من خلال الضغوط الميكانيكية في التكوين؛ في حالة وجود تناقض مع اتجاه الثقب في منطقة تكوين قاع البئر (BFZ)، يتم ملاحظة الالتواء - وهو انتقال في اتجاه تطور الشقوق من ذلك الذي تحدده الثقب إلى ذلك الذي تحدده ضغوط التكوين.

عند التخطيط للتكسير الهيدروليكي، يتمأخذ قيمة زاوية ذروة البئر التي تتجاوز 30 درجة، وخاصة تلك القريبة من 45 درجة، في الاعتبار كعامل تعقيد [2]. في عدد من الحالات، وبناءً على هذا العامل، تكون معلمات التكسير الهيدروليكي مثل الكتلة والتركيز والقطر المتوسط لجزئيات الدعامة محدودة، مما قد يؤدي إلى انخفاض كبير في التأثير التكنولوجي للتكسير الهيدروليكي للخزانات الأرضية عالية النفاية.

وبما أن الملاحظة المباشرة لعملية تكوين الشقوق غير ممكنة من الناحية الفنية، فقد تم استخدام الأساليب الإحصائية لإثبات وتقييم درجة تأثير العامل قيد النظر. لاختبار الفرضية، تم اختيار البيانات المتعلقة بعمليات التكسير الهيدروليكي التي أجريت - زاوية السمت كمتغير مستهدف، والمتغير الثاني قف، والذي يميز وجود المضاعفات التكنولوجية [3]. وبناءً على نتائج التحليل، تم الحصول على علاقة إحصائية بين زاوية السمت في IP و خسائر ضغط الاحتكاك، ولكن لم يتم تأكيد العلاقة مع احتمالية حدوث المضاعفات التكنولوجية.

تم إجراء التحليل التصنيفي لتحديد حجم التأثير. يتم تقسيم عينة البيانات إلى فئات اعتماداً على زاوية السمت في IP. في هذه الحالة، يتمأخذ الفاصل الزمني الأول ليكون فيما من 0 إلى 2.5 درجة، ثم يتمأخذ الفواصل بزيادات قدرها 5 درجات. عند رسم الرسم البياني، يتم ملاحظة اعتماد تدرجات فقدان الضغط على نحو قريب من الخطى. كان الحد الأقصى للفرق في منحدر خسائر ضغط الاحتكاك بين الآبار بزاوية سمتية  $0.5\ldots 15^\circ$  و  $35\ldots 55^\circ$  هو 0.012 جاوي/متر للاستبدال و 0.004 ضغط جاوي/متر للتكسير الهيدروليكي المعلوماتي باستخدام حزمة دعامة. بالنسبة لمتوسط العمق المقاس للعينة باللغة 1800 متر، فإن هذا يتواافق مع فرق في ضغوط رأس البئر بمقدار 20 و 5 ضغط جاوي على التوالي. علاوة على ذلك، عند إجراء التكسير الهيدروليكي المعلوماتي باستخدام حزمة دعامة الاختبار، فإنه يوفر انخفاضاً كبيراً في خسائر ضغط الاحتكاك.

وهكذا، حتى لو كان 100% من الفرق المكتشف في ضغط رأس البئر يرجع إلى خسائر ضغط الاحتكاك في منطقة رأس البئر بسبب التواء الكسر بشكل أكبر، فإن زاوية السمت في منطقة رأس البئر ليس لها تأثير كافٍ لزيادة خطر حدوث مضاعفات تكنولوجية.

### الخاتمة

وبناءً على نتائج التحليل، يوصى باستبعاد قيمة زاوية السمت في فترة التفريغ من العوامل المعقّدة للتكسير الهيدروليكي. يؤدي استخدام حزمة الدعامات التجريبية إلى انخفاض كبير إحصائياً في خسائر ضغط الاحتكاك، ولذلك يوصى بمواصلة ممارسة حزم الدعامات التجريبية عند إجراء التكسير الهيدروليكي على الخزانات الأرضية التقليدية.

### المراجع والمصادر

- Экономидес М., Олайни Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта: от теории к практике. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 236 с.
- Jennings Alfred R., Enhanced Jr. P.E. Применение гидравлического разрыва пласта / пер. с англ. Д. Малахов. - М.: Петроскилс, 2003. – 168 с.
- Войтехин О.Л., Невзорова А.Б. Технологические подходы к оптимизации темпа разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяного месторождения // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О.Сухого. – 2023. - №3. – С. 67-79.