

УДК 553.981

Г. І. РУДЬКО, д-р геол.-мінерал. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, професор, голова Державної комісії України по запасах корисних копалин, office@dkz.gov.ua, ORCID-000-0001-7752-4310,

Є. М. СТАРОСЕЛЬСЬКИЙ, канд. геол. наук ("Tesseral Technologies" (Канада)), evgene7@yahoo.ca,

Н. Я. МАРМАЛЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, головний геофізик ("Tesseral Technologies" (Україна)),

В. О. ТІПУСЯК, "Arawak Energy Ukraine B. V." (Україна),

Е. Р. АВАКЯН, "Troy Stanley Professional Corporation" (Канада)

ЗНАЧЕННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ПІД ЧАС ПЛАНУВАННЯ ГІДРОРОЗРИВІВ ПЛАСТІВ

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГИДРОРАЗРЫВОВ ПЛАСТОВ

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Рассмотрены научные и методологические аспекты разработки месторождений нефти и газа при использовании гидроразрыва пластов. Проанализированы причины неудовлетворительных результатов при проведении гидроразрывов, а также факторы, которые надо принимать во внимание при выборе скважины и пласта для проведения гидроразрыва. Установлено, что геологические факторы (проницаемость пласта, скин-фактор, пластовое давление, литология пласта, мощность, механические параметры пласта и др.) при планировании гидроразрывов имеют основное влияние на эффективность гидроразрыва пласта, а допущенные ошибки при их изучении обусловлены либо недостаточным изучением коллекторских и вмещающих свойств пласта, либо недостаточным изучением ловушки.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, коллектор, продуктивный пласт, скин-фактор, проницаемость пласта.

G. I. Rudko, Dr. of Geological and Mineralogical Sciences, Dr. of Geographical Sciences, Dr. of Technical Sciences, Professor, State Commission of Ukraine on Mineral Resources (Ukraine), office@ukr.gov.ua, ORCID-000-0001-7752-4310, **Ye. M. Staroselskyi**, Candidate of Geological Sciences ("Tesseral Technologies") (Canada), evgene7@yahoo.ca, **N. Ya. Marmalevskyi**, Candidate of Technical Sciences, Chief Geophysicist ("Tesseral Technologies") (Ukraine), **V. O. Tipusiak**, ("Arawak Energy Ukraine B. V.") (Ukraine), **E. R. Avakian**, ("Troy Stanley Professional Corporation") (Canada)

THE SIGNIFICANCE OF GEOLOGICAL DATA AT HYDRAULIC FRACTURING PLANNING

Scientific and methodological aspects of the development of oil and gas fields at the use of hydraulic fracturing have been considered. The causes of unsatisfactory results at hydraulic fracturing, and also factors to be taken into account when choosing a well and a bed for hydraulic fracturing have been analyzed. It has been established that geological factors (in-place permeability, skin-factor, bed formation pressure, bed formation lithology, thickness, mechanical reservoir characteristics etc.) at hydraulic fracturing planning have a main impact on the hydraulic fracturing efficiency, and the errors introduced at the study of these factors are predetermined either by the insufficient study of collecting and host properties of the bed formation, or by the insufficient study of a trap.

Keywords: hydraulic fracturing, collector, payout bed, skin-factor, in-place permeability.

Введение. В большинстве старых нефтегазоносных бассейнов мира месторождения углеводородов были открыты и введены в эксплуатацию много лет назад. К настоящему времени легко извлекаемых запасов осталось не так уж много. Поэтому жизнь заставляет заниматься извлечением углеводородов из нетрадиционных или низкопроницаемых объектов, характеризующихся высокой неоднородностью и плохими коллекторскими свойствами. В таких условиях бурение горизонтальных стволов и создание гидроразрывов пластов (ГРП) в скважинах позволяет увеличить площадь дренирования, и таким образом существенно увеличить добычу. Показано, что если участок вертикальной скважины длиной 30 м без ГРП имеет площадь контакта с породой всего 222 ф², то после проведения гидроразрыва площадь контакта увеличивается в 270 раз [1]. В горизонтальной скважине величина контакта и соответственно площадь дренирования значительно выше. Так, площадь контакта горизонтальной скважины длиной 700 м без ГРП в 50 раз больше, чем вертикальной, а с ГРП (10 трещин длиной 15 м) в 1013 раз больше, чем вертикальной.

Сегодня в Северной Америке проводят тысячи гидроразрывов в год. К настоящему времени в Канаде гидроразрыв был проведен в более чем 200 тыс. скважин, в последние годы гидроразрывы проводятся в 80 % всех пробуренных скважин [6]. Роль гидроразрывов в увеличении добычи не вызывает сомнения. К преимуществам метода относятся его простота и возможность быстрого увеличения дебитов скважин.

Однако не всегда результаты гидроразрывов приводят к увеличению нефтеотдачи. В ряде случаев попытки проведения гидроразрывов заканчиваются уменьшением нефтеотдачи, быстрым обводнением скважин и даже прекращением добычи. Из-за неправильно проведенных ГРП крайне резко возрастает обводненность пласта, серьезно нарушается сплошность пласта-покрышки и как результат, нефть может мигрировать в вышележащие пласты, в том числе в водоносные. **Цель данной статьи:** анализ геологических факторов, которые надо учитывать при выборе скважин для проведения гидроразрывов.

Причины неудовлетворительных результатов при проведении гидроразрывов. Процедура выбора скважин и пластов для проведения гидроразрыва является наиболее важной составной частью успешного гидроразрыва. Основными причинами неудовлетворительных гидроразрывов являются: неблагоприятные

свойства продуктивного пласта, проблемы со стволом скважины, несоответственный материал для гидроразрыва и (или) оборудование, механические свойства пласта [4]. Несовпадение дебитов газовых скважин проектным значениям обусловлены: высокой геологической неоднородностью и анизотропией; существенным изменением пластового давления по латерали в районе скважины; искривлением ствола в виде синусоиды, что приводит к образованию в нижних сегментах песчаных пробок, а в верхних сегментах – газа, что затрудняет движение пластового флюида по горизонтальному стволу; кольматацией при скважинной зоне [3]. Причинами неудовлетворительного гидроразрыва может быть также близость водо-нефтяного или газо-нефтяного контакта, дефектное оборудование (трубы; колонная головка; нарушение целостности; смятие эксплуатационной колонны или хвостовика), плохое сцепление цементного кольца сверху и внизу зоны гидроразрыва или отсутствие цементного камня, неучитывание высокой температуры и (или) давления, отсутствие инфраструктуры для гидроразрыва, невозможность удаления жидкости гидроразрыва и др. [7].

К вышеизложенным причинам неудовлетворительных гидроразрывов можно также добавить ошибки при изучении свойств продуктивного пласта, неучитывание одного или нескольких факторов геологического или технологического спектра при выборе скважин для проведения гидроразрывов. Частой причиной неуспешного гидроразрыва является неконтролируемое распространение трещины, в том числе выход трещины за пределы пласта, поворот трещины и ее закрытие.

Факторы, влияющие на результаты гидроразрыва пласта. Факторы, которые надо принимать во внимание при выборе скважины и пласта для проведения гидроразрыва можно разделить на геологические (исходная информация) – факторы, не поддающиеся корректировке, и технологические, которые можно регулировать, используя опыт эксплуатации. Ошибки при изучении как одних, так и других могут привести к неудачным результатам ГРП.

Геологические факторы. Основное влияние на эффективность ГРП оказывают геологические факторы, так как допущенные ошибки при их изучении обусловлены либо недостаточным изучением коллекторских и вмещающих свойств пласта, либо недостаточным изучением ловушки. При проведении ГРП важно обеспечить правильный подбор скважин, для чего необходимо учитывать литолого-фациальную принадлежность скважин к тому или иному типу разреза, а также правильно выбирать технологию проведения операций. Особенно это важно при использовании технологии ГРП на высокообводненных пластах, так как риск прорыва воды из заводненного объема коллектора по трещинам велик.

Геологические факторы при планировании гидроразрывов можно условно разделить на *критические* и *важные*. К первой группе относятся проницаемость пласта, скин-фактор, наличие низкопористых пластов сверху и внизу продуктивного пласта, пластовое давление, объем углеводородов на участке проводимого ГРП. Вторая группа представлена такими важными факторами, как литология пласта, процент естественной трещиноватости, наличие газовой шапки и подошвенной воды (закачиваемой или законтурной), мощность продуктивного пласта, процент обводненности, месторасположение скважины, а также механические параметры пласта (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, сжимаемость, величина стресса).

Проницаемость пласта. Для гидроразрыва должны выбираться пласты с низкой естественной проницаемостью.

Большинство авторов склоняются к тому, что нефтяные пласты с проницаемостью ниже 1 миллдарси являются хорошими объектами для гидроразрыва [6], часть исследователей рассматривает пласты ниже 5 миллдарси. Газовые пласты с проницаемостью меньше 0,1 миллдарси рассматриваются как хорошие объекты для проведения гидроразрыва. В Канаде массово проводят гидроразрывы на пластах с проницаемостью 10–20 микродарси, пытаются разрывать пласты с проницаемостью нанодарси.

Скин-фактор. Пласты с поврежденной призабойной зоной пласта в результате нарушений технологии бурения, освоения, перфорации и т. д. являются хорошими объектами для гидроразрыва. Если скин-фактор положительный, то призабойная зона повреждена. Отрицательный скин-фактор говорит о том, что проницаемость окоскважинного пространства выше, чем проницаемость пласта. Таким он бывает после стимуляции пласта (кислотная обработка, ГРП, глубокая перфорация). Если же пласт не поврежден, то скин-фактор должен быть нулевым.

Наличие флюидоупоров сверху и внизу продуктивного пласта. Низкопористые пласты (флюидоупоры, экраны, барьеры) внизу и сверху продуктивного пласта ограничивают энергию гидроразрыва. Если флюидоупор имеет трещины или проницаемые литологические включения, то энергия гидроразрыва может рассеиваться. Длина трещины гидроразрыва контролируется флюидоупорами, давлением гидроразрыва, объемом закачиваемой жидкости во время гидроразрыва. К сожалению, на практике при планировании гидроразрывов не всегда изучают экранирующие свойства флюидоупоров. Изучение кернового материала с этих участков и анализ геофизических данных позволяют сделать уверенное заключение об экранирующих свойствах флюидоупоров, в том числе давлении прорыва, литологических неоднородностях.

Объем углеводородов. Одним из критических факторов при планировании ГРП является наличие существенного объема углеводородов (УВ) в пласте. Если остаточные запасы УВ незначительны, то затраты на проведение гидроразрыва могут превысить доходы от добычи УВ. С точки зрения наличия УВ в пласте очень важно составить правильную модель месторождения, уточнить подсчетные параметры. Подсчетные параметры должны быть установлены по результатам совместного использования лабораторных, геофизических методов и результатов исследования скважин. Распространенной ошибкой является проведение гидроразрыва в блоке, ограниченном по размерам и объему углеводородов, базируясь на неправильно составленной модели пласта.

Пластовое давление. Давление должно быть среднее или высокое, пласты с низким давлением являются плохими объектами для гидроразрыва. В то же время надо иметь в виду, что если остаточные запасы нефти достаточно велики, то пласты с низким пластовым давлением могут быть объектом для проведения ГРП. Кроме этого, с падением пластового давления высота трещины гидроразрыва уменьшается, а ширина и длина увеличивается. Поэтому в тех случаях, когда ограничение высоты трещины критично для проведения гидроразрыва (например, близость водоносного горизонта) целесообразно подбирать участки с пониженным давлением или понижать его в районе проводимых работ (Ибатулин и др., 2011).

При проведении гидроразрыва в газоконденсатных залежах надо выбирать участки с текущим пластовым давлением не ниже 75 % первоначального, обводненности продукции не более 30 %, коэффициента песчаности не более 0,3 % [2].

Первостепенные геологические факторы

Литология пласта. При проектировании ГРП надо учитывать литологическую характеристику пласта, а именно тип коллектора, степень сцементированности зерен, степень трещиноватости и кавернозности, степень глинистости. Из опыта ГРП известно, что наибольший эффект от проведения операций ГРП получается в карбонатах или сильно сцементированных песчаниках с низким содержанием глини и малой степенью трещиноватости.

Наличие глини в порах может значительно уменьшить проницаемость коллектора. При наличии разбухающих глини в составе коллектора надо добавлять соответствующее количество химикатов для предотвращения набухания глини. Если коллектор слабосцементированный, а цементирующее вещество карбонатного состава кислотные растворы применять нельзя.

Естественная трещиноватость пласта. Наличие развитой естественной трещиноватости в пласте ставит под угрозу выполнение ГРП, так как возможен уход жидкости разрыва в естественные трещины. Поэтому вопросу изучения трещиноватости надо уделить серьезное внимание. Данные скважинных и полевых геофизических методов в сочетании с кернавым материалом, результатами бурения и исследования скважин дают возможность уверенно картировать такие зоны. Интервалы поглощений, регистрируемые во время бурения, подтверждают наличие зон трещиноватости. В некоторых случаях зоны трещиноватости могут быть установлены и по данным сейсмических исследований, а значит определение конфигурации тектонических нарушений является важным этапом. Надо иметь в виду, что традиционная сейсморазведка, даже современная 3D, не всегда может картировать вертикальные и (или) субвертикальные трещины. В то же время метод дуплексной миграции (DWM) может дать более четкую конфигурацию распространения трещиноватости в пласте. С точки зрения сейсмических исследований надо быть уверенным в том, что качество и количество сейсмических данных позволяют с уверенностью говорить о точности сейсмических построений. Источником ошибок в этом плане является отсутствие 3D сейсмических исследований, наличие высокоскоростных пластов-помех в верхней части геологического разреза (известняки, эвапориты), неучет зоны малых скоростей, ошибки в привязке скважинных и сейсмических данных, неоптимальная схема наблюдений и т. п. Неправильно подобранный граф обработки и ошибки в интерпретации данных сейсморазведки также могут существенно исказить реальную геологическую модель среды.

Мощность продуктивного пласта. Большинство исследователей считают, что общая мощность пласта при гидроразрыве должна превышать 10 м. Приводим рекомендуемые мощность пласта, давление и другие параметры при выборе объекта для гидроразрыва пласта (таблица) (Hyderabad et al, 2010). Авторы считают, что для нефтеносного пласта общая мощность должна превышать 10 м, объем воды в продукции должен быть менее 30 %, пластовое давление – менее 70 %, нефтенасыщенность – более 40 %.

Размещение скважины. Скважины, находящиеся в зонах тектонических нарушений, недалеко от нагнетательных скважин, должны быть исключены из объектов на проведение гидроразрыва. Расстояние от точки гидроразрыва до разломов надо тщательно анализировать. Пользы от ГРП не будет, если разлом будет очень близко.

Таблица. Рекомендуемые параметры пластов для гидроразрыва пласта (Hyderabad et al, 2010)

Параметр	Нефтяной коллектор	Газовый коллектор
Углеводородонасыщенность	> 40 %	> 50 %
Общая мощность	> 10 м	> 10 м
Объем воды в продукции	< 30 %	< 1100 м ³ /10 ⁶ м ³

Выводы. Правильно проведенный гидроразрыв пластов способен значительно увеличить дебит скважины за короткий промежуток времени. К сожалению, не каждая скважина имеет параметры, необходимые для проведения ГРП. Процедура выбора скважины и пласта (пластов) для проведения гидроразрыва является наиболее важной составной частью успешного гидроразрыва. Пренебрежение одним или несколькими геологическими или технологическими факторами может привести к отрицательным результатам ГРП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аль-Матар Б., Аль-Мутави М., Дашти М., Шарма Дж. Индивидуальный подход к проектированию гидроразрыва пласта//Нефтегазовое оборудование. – 2008. – Т. 19. – № 3. – С. 4–19.
2. Клещенко И. И., Крылов Г. В., Соколко С. К. Гидроразрыв газоконденсатных объектов на месторождениях севера Западной Сибири. – Тюмень: ООО “Тюменский гидрогаз”, 2007. – С. 44–144.
3. Ушаков А. С. Анализ эффективности гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах месторождений Западной Сибири//Нефтегазовое дело. – 2010. – Вып. 2. – С. 1–13.
4. Aslam T. Review of hydraulic fracturing technique//Master of Engineering in Petroleum Engineering Dalhousie University Halifax. – Nova Scotia. – 57 p.
5. Gharibi A., Zaveidavianpoor M. Hydraulic Fracturing for Improved Oil Recovery//Department of Petroleum Engineering, Faculty of Petroleum and Renewable Energy Engineering. – Universiti Teknologi, Malaysia, 2015.
6. Minkov D. What do you need to know about tracking in Canada. – Режим доступа: <https://www.desmog.ca/2017/04/06/what-is-fracking-in-canada>.
7. Virgílio José Martins Ferreira Filho, Antônio Orestes de Salvo Castro Selecting Oil Wells for Hydraulic Fracturing: A Comparison between Genetic-Fuzzy and Neuro Fuzzy Systems//American Journal of Operations Research. – 2014. – 4. – P. 202–216.

REFERENCES

1. Al-Matar B., Al-Mutava M., Dashti M., Sharma G. An individual approach to hydraulic fracturing projection//Neftegazovoe oborudovanie. – 2008. – V. 19. – No 3. – P. 4–19. (In Russian).
2. Kleshchenko I.I., Krylov H.V., Sokolko S.K. Hydraulic fracturing of gas-condensate objects on the Deposits of the northern part of the Western Siberia. – Tjumen: ООО “Тюменский Гипрогаз”, 2007. – P. 44–144. (In Russian).
3. Ushakov A. S. Analysis of hydraulic fracturing efficiency in the horizontal wells of the Western Siberian deposits//Neftegazovoe delo. – 2010. – Iss. 2. – P. 1–13. (In Russian).
4. Aslam T. Review of hydraulic fracturing technique//Master of Engineering in Petroleum Engineering Dalhousie University Halifax. – Nova Scotia. – 57 p.
5. Gharibi A., Zaveidavianpoor M. Hydraulic Fracturing for Improved Oil Recovery//Department of Petroleum Engineering, Faculty of Petroleum and Renewable Energy Engineering. – Universiti Teknologi, Malaysia, 2015.
6. Minkov D. What do you need to know about tracking in Canada. – Режим доступа: <https://www.desmog.ca/2017/04/06/what-is-fracking-in-canada>.
7. Virgílio José Martins Ferreira Filho, Antônio Orestes de Salvo Castro Selecting Oil Wells for Hydraulic Fracturing: A Comparison between Genetic-Fuzzy and Neuro Fuzzy Systems. American Journal of Operations Research. – 2014. – 4. – P. 202–216.

Рукопис отримано 16.11.2017.